

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291113
TECHNOLOGY OF APPLYING
A MULTIFUNCTIONAL HOMOGENIZER ASSEMBLY
FOR CARBAMIDE-AMMONIUM MIXTURE
PREPARATION (p. 6–12)

Anatoly Vorozhka

Sumy State University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0859-1920>

Olexandr Tiahno

Sumy State University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1407-7650>

Mykhailo Ovcharenko

Sumy State University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5128-4782>

Mikhailo Loburenko

Sumy State University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2487-264X>

Andriy Papchenko

Sumy State University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6608-4356>

This paper considers the technological process of preparing carbamide-ammonium mixture using a multifunctional homogenizer assembly. The study object is the work process in the flow part of the multifunctional homogenizer assembly. Carbamide-ammonium mixture is used to feed plants with nitrogen, which is one of the main macro elements necessary for their growth and development. Nitrogen contributes to the formation of proteins, enzymes, and other important organic compounds, which are necessary for healthy plant growth and crop formation. Production of carbamide-ammonium mixture includes several stages, such as mechanical, hydromechanical, thermal, mass exchange, and chemical processes. To optimize these processes, a multifunctional homogenizer assembly of the rotary-dynamic principle of action was designed, which is capable of simultaneously performing all stages of carbamide-ammonium mixture preparation. A test bench was constructed to study the process of preparing carbamide-ammonium mixture and the sample was analyzed for nutrient content. The designed unit is capable of preparing about 30 liters of ready-made KAS-32 mixture in 10 minutes. The energy indicators obtained as a result of parametric tests are: head $H=22.1$ m, power $N=27$ kW, with productivity $Q=5$ m³/h. The use of such technology makes it possible to implement the principles of precision agriculture under the conditions of small-scale production, thereby increasing the efficiency of land cultivation. There is also the possibility of using equipment of this type for other needs, for example, for the preparation of liquid complex fertilizers and growth stimulants based on humates. Further development based on this assembly includes the construction of an automatic component supply line and the formation of a closed production cycle system.

Keywords: multifunctional homogenizer assembly, rotary devices, carbamide-ammonium mixture, precision agriculture.

References

1. Vse, shcho neobkhidno znaty pro KAS – vartist, normy vnesennia ta perevahy (2021). Available at: <https://kurkul.com/spetsproekty/970-vse-scho-neobkhidno-znati-pro-kas--vartist-normi-vnesennya-ta-perevagi>
2. TU U 20.1-00203826-024:2020. Dobryva ridki azotni (KAS).
3. Tochne zemlerobstvo - resursoberhaiuche zemlerobstvo. Available at: <https://kas32.com/ua/post/view/66>
4. Horender, S., Giordano, A., Auderset, K., Vasilatou, K. (2022). A portable flow tube homogenizer for aerosol mixing in the sub-micrometre and lower micrometre particle size range. *Measurement Science and Technology*, 33 (11), 114006. doi: <https://doi.org/10.1088/1361-6501/ac81a1>
5. Kourniatis, L. R., Spinelli, L. S., Mansur, C. R. E., González, G. (2010). Nanoemulsões óleo de laranja/água preparadas em homogeneizador de alta pressão. *Química Nova*, 33 (2), 295–300. doi: <https://doi.org/10.1590/s0100-40422010000200013>
6. Pravinata, L., Akhtar, M., Bentley, P. J., Mahatnirunkul, T., Murray, B. S. (2016). Preparation of alginate microgels in a simple one step process via the Leeds Jet Homogenizer. *Food Hydrocolloids*, 61, 77–84. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.025>
7. Hidajat, M. J., Jo, W., Kim, H., Noh, J. (2020). Effective Droplet Size Reduction and Excellent Stability of Limonene Nanoemulsion Formed by High-Pressure Homogenizer. *Colloids and Interfaces*, 4 (1), 5. doi: <https://doi.org/10.3390/colloids4010005>
8. Biletskyi, V., Molchanov, P., Orlovskyy, V., Shpylovyi, L. (2017). Research into the mechanism of aggregate-forming objects contact with oil aggregation of finely-dispersed coal. *Mining of Mineral Deposits*, 11 (4), 19–28. doi: <https://doi.org/10.15407/mining11.04.019>
9. Hsiao, M.-C., Chang, L.-W., Hou, S.-S. (2019). Study of Solid Calcium Diglyceroxide for Biodiesel Production from Waste Cooking Oil Using a High Speed Homogenizer. *Energies*, 12 (17), 3205. doi: <https://doi.org/10.3390/en12173205>
10. Sitepu, E. K., Sembiring, Y., Supeno, M., Tarigan, K., Ginting, J., Karokaro, J. A., Tarigan, J. Br. (2022). Homogenizer-intensified room temperature biodiesel production using heterogeneous palm bunch ash catalyst. *South African Journal of Chemical Engineering*, 40, 240–245. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.03.007>
11. Papchenko, A. A., Ovcharenko, M. S., Kovalov, S. F. (2012). Udoskonalennia liniyi vyrobnytstva zghushchenoho moloka za rakhunok rotornno-dynamichnoho ahrehatu-homohenzatora. *Visnyk SumDU. Seriya «Tekhn. nauky»*, 2, 90–95.
12. Vakal, S. V., Yanovska, H. O., Vakal, V. S., Zelenskyi, A. M., Artiukhov, A. Ye., Shkola, V. Yu. (2021). Pat. No. 150543 UA. Sposib oderzhannia ridkoho humatu kalii. No. u202104731; zaiavl. 18.08.2021; opubl. 02.03.2022, Bul. No. 9. Available at: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=280825>
13. Corrigendum to Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No. 793/93 and Commission Regulation (EC) No. 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC (OJ L 396, 30.12.2006, p. 1; corrected by OJ L 136, 29.5.2007, p. 3). Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32006R1907R%2803%29&qid=1700214084516>
14. Ovcharenko, M. S., Yevtushenko, A. A., Kovalov, S. F., Ovcharenko, M. S., Papchenko, O. O. (2008). Stan doslidzhennia ta realizatsiyi teploheneruiuchykh ahrehativ. *Visnyk Sumskoho derzhavnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky»*, 4, 86–92.
15. Yevtushenko, A. O., Papchenko, A. A., Kolomiets, V. V., Ovcharenko, M. S. (2010). Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti rotornykh teploheneruiuchykh ahrehativ-homohenzatoriv. *Promyslova hidravlika i pnevmatyka*, 1, 95–99.

16. Papchenko, O. O., Kovalov, S. F., Ovcharenko, M. S., Lypovi, V. M. (2013). Rozrakhunok ta proektuvannya bahatofunktionalnykh teplo-heneruiuchykh ahrehativ-hidromliniv. Sumy: SumDU, 128.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291114

PROVING THE POSSIBILITY TO RATIONALIZE THE PROCESS OF SEED MATERIALS SEPARATION WITH A VIBRO-PNEUMATIC CENTRIFUGAL SEPARATOR USING A THEORETICAL MODEL (p. 13–21)

Vadym Bredykhin

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

Alexey Bogomolov

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1531-7030>

Liliia Kis-Korkishchenko

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

Andrey Pak

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

Alina Pak

Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0311-9731>

The object of research is the seed material and working bodies of a vibro-pneumatic centrifugal separator; the subject is their interaction. The established surfaces, which are the results of the simulation of the process of separation of seed materials in the vibro-pneumatic centrifugal separator, have a curve to the plane whose parameters are the speed of the air flow and the frequency of oscillations of the working surface. It is noted that this nature of the dependence of the purity of the «heavy» fraction of seeds on parameters of the separation process makes it possible to determine the rational ranges of these parameters, at which the maximum value of this characteristic is reached. Experimental simulation of the separation process in the vibro-pneumatic centrifugal separator of wheat, sunflower, and soybean seed materials under production conditions showed a high convergence of the results with the results of the simulation of the process under the same initial conditions. It was established that the correlation coefficients between the points obtained experimentally and obtained by simulation for the given results are in the range from 0.89 to 0.95. At the same time, the differences are the purity values of the «heavy» seed fraction, and not in the nature of its change due to changes in the parameters of the separation process. The expediency of using modeling when determining the rational values of the parameters of the separation process in the vibro-pneumatic centrifugal separator is noted. This will help increase the energy and resource efficiency of the equipment due to the absence of the need for experimental setup. The rational ranges of air flow speed and vibration frequency of the rotor of the vibro-pneumatic centrifugal separator for the separation of seed materials have been determined: wheat – 1.2...1.5 m/s; 4500...5100 cycles per minute; sunflower – 1.3...1.5 m/s; 4500...5000 cycles per minute; soybeans – 1.3...1.6 m/s; 5000...5500 cycles per minute.

Keywords: vibro-pneumatic centrifugal separator, density of seed material, multiphase medium, fluid, separation parameters.

References

- Stepanenko, S., Aneliak, M., Kuzmych, A., Kustov, S., Lysaniuk, V. (2022). Improving the efficiency of harvesting sunflower seed crops. INMATEH Agricultural Engineering, 67 (2), 331–340. doi: <https://doi.org/10.35633/inmateh-67-34>

- Stepanenko, S. P. (2017). Research pneumatic gravity separation grain materials. International Scientific Journal «Mechanization in Agriculture», 2, 54–56. Available at: <https://stumejournals.com/journals/am/2017/2/54.full.pdf>
- Chaplygin, M., Bespalova, O., Podzorova, M. (2019). Results of tests of devices for sunflower harvesting in economic conditions. E3S Web of Conferences, 126, 00063. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912600063>
- Jin, W., Ding, Y., Bai, S., Zhang, X., Yan, J., Zhou, X. (2021). Design and experiments of the reel board header device for an oil sunflower harvester. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 37 (3), 27–36. Available at: <http://www.tcsae.org/nygcx-ben/article/abstract/20210304>
- Rogovskii, I. L., Martiniuk, D. I., Voinash, S. A., Luchinovich, A. A., Sokolova, V. A., Ivanov, A. M., Churakov, A. V. (2021). Modeling the throughput capacity of threshing-separating apparatus of grain harvester's combines. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 677 (4), 042098. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/4/042098>
- Shaforostov, V. D., Makarov, S. S., Elizarov, P. A. (2018). A harvester to a breeding and seeds growing combine for sunflower harvesting. Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of All-Russian Research Institute of Oil Crops by the Name of Pustovoit V.S., 3 (175), 76–80. doi: <https://doi.org/10.25230/2412-608x-2018-3-175-76-80>
- Bredykhin, V., Gurskyi, P., Alfyorov, O., Bredykhina, K., Pak, A. (2021). Improving the mechanical-mathematical model of grain mass separation in a fluidized bed. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (1 (111)), 79–86. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232017>
- Kumar, D., Kalita, P. (2017). Reducing Postharvest Losses during Storage of Grain Crops to Strengthen Food Security in Developing Countries. Foods, 6 (1), 8. doi: <https://doi.org/10.3390/foods6010008>
- Kharchenko, S., Borshch, Y., Kovalyshyn, S., Piven, M., Abduev, M., Miernik, A. et al. (2021). Modeling of Aerodynamic Separation of Preliminarily Stratified Grain Mixture in Vertical Pneumatic Separation Duct. Applied Sciences, 11 (10), 4383. doi: <https://doi.org/10.3390/app11104383>
- Bulgakov, V., Nikolaenko, S., Holovach, I., Adamchuk, V., Kiurchev, S., Ivanovs, S., Olt, J. (2020). Theory of grain mixture particle motion during aspiration separation. Agronomy Research, 18 (1), 18–37. Available at: <https://dspace.emu.ee/xmlui/handle/10492/5667>
- Tishchenko, L., Kharchenko, S., Kharchenko, F., Bredykhin, V., Tsurkan, O. (2016). Identification of a mixture of grain particle velocity through the holes of the vibrating sieves grain separators. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (7 (80)), 63–69. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65920>
- Bakum, M. V., Kharchenko, S. O., kovalyshyn, S. Y., Krekot, M. M., Kharchenko, F. M., Shvets, O. P. et al. (2022). Identification of parameters of the separation process of safflower seed material on sieves. Journal of Physics: Conference Series, 2408 (1), 012013. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2408/1/012013>
- Salemi, E., Tessari, U., Mastrocicco, N. C., Micol. (2010). Improved gravitational grain size separation method. Applied Clay Science, 48 (4), 612–614. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2010.03.014>
- Bredykhin, V., Pak, A., Gurskyi, P., Denisenko, S., Bredykhina, K. (2021). Improving the mechanical-mathematical model of pneumatic vibration centrifugal fractionation of grain materials based on their density. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (1 (112)), 54–60. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236938>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291680
DETERMINING THE PATTERN OF LOOSE
MATERIAL MOVEMENT IN SCREW AND TUBULAR-
COMB FEEDERS (p. 22–28)

Volodymyr Nychehlod

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5252-5341>

Oleksandr Burmistenkov

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0001-4229>

Volodymyr Statsenko

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3932-792X>

Tetiana Bila

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8937-5244>

Dmytro Statsenko

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3064-3109>

The object of this study is the relationship between the structural and technological parameters of feeders for loose materials and the characteristics of particle flows at their outlet, namely: productivity and the magnitude of pulsations. The existing designs of this type of equipment were analyzed, and the most common methods for simulating their operation were determined. A structure of a tubular-comb feeder has been proposed, the performance of which is compared with the well-known screw feeder. Computer models of both structures were built based on the discrete element method. The simulation was carried out in the EDEM 2017 software environment. It was established that the resulting models take into account the discrete nature of the movement of loose materials and allow conducting research taking into account the physical and mechanical properties of individual particles.

An experimental bench was fabricated for experimental verification of the modes of operation of the tubular-comb feeder. The performance of this type of feeder was determined for two pipe rotation speeds (6 and 10 rad/s). The amount of material flow pulsations in the outlet nozzle was also determined. The correspondence of the results of calculations based on the computer model to the real process was confirmed. The current study was carried out the steady modes of operation.

It was established that with equal overall dimensions and speeds of rotation of the working bodies, the productivity of the screw feeder is 5...5.2 times greater than that of the tubular-comb feeder. But the latter provides 7.3...16.4 times smaller magnitude of pulsations of the flow of loose material. This makes it possible to reduce the heterogeneity of mixtures, especially in the case of using such feeders as part of continuous mixing systems.

The results make it possible to analyze the operation of bulk material feeders and reduce their design time.

Keywords: loose material, tubular-comb feeder, discrete element method, DEM, pulsations of loose material.

References

- Burmistenkov, O. P. et al. (2007). Vyrobnystvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimernykh materialiv u vztutievii ta shkirhalantereinii promyslovosti. Khmelnytskyi: [b.v.], 255.
- Beloshenko, V., Voznyak, Y., Voznyak, A., Savchenko, B. (2017). New approach to production of fiber reinforced polymer hybrid composites. *Composites Part B: Engineering*, 112, 22–30. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.12.030>
- Kulik, T., Synyuk, O., Zlotenko, B. (2017). Modeling a process of filling the mold during injection molding of polymeric parts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (89)), 70–77. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110820>
- Statsenko, V., Burmistenkov, O., Bila, T., Statsenko, D. (2019). Determining the motion character of loose materials in the system of continuous action «hopper – reciprocating plate feeder». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (98)), 21–28. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.163545>
- Zheng, Q. J., Xu, M. H., Chu, K. W., Pan, R. H., Yu, A. B. (2017). A coupled FEM/DEM model for pipe conveyor systems: Analysis of the contact forces on belt. *Powder Technology*, 314, 480–489. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.09.070>
- Toson, P., Khinast, J. G. (2023). A DEM model to evaluate refill strategies of a twin-screw feeder. *International Journal of Pharmaceutics*, 641, 122915. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2023.122915>
- Santos, L. S., Macêdo, E. N., Ribeiro Filho, P. R. C. F., Cunha, A. P. A., Cheung, N. (2023). Belt Rotation in Pipe Conveyors: Failure Mode Analysis and Overlap Stability Assessment. *Sustainability*, 15 (14), 11312. doi: <https://doi.org/10.3390/su151411312>
- Karwat, B., Machnik, R., Niedźwiedzki, J., Nogaj, M., Rubacha, P., Stańczyk, E. (2019). Calibration of bulk material model in Discrete Element Method on example of perlite D18-DN. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 21 (2), 351–357. doi: <https://doi.org/10.17531/ein.2019.2.20>
- Cleary, P. W. (2007). DEM modelling of particulate flow in a screw feeder Model description. *Progress in Computational Fluid Dynamics, An International Journal*, 7 (2/3/4), 128. doi: <https://doi.org/10.1504/pcfd.2007.013005>
- Hou, Q. F., Dong, K. J., Yu, A. B. (2014). DEM study of the flow of cohesive particles in a screw feeder. *Powder Technology*, 256, 529–539. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.01.062>
- Kretz, D., Callau-Monje, S., Hitschler, M., Hien, A., Raedle, M., Hesser, J. (2016). Discrete element method (DEM) simulation and validation of a screw feeder system. *Powder Technology*, 287, 131–138. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.09.038>
- Owen, P. J., Cleary, P. W. (2009). Prediction of screw conveyor performance using the Discrete Element Method (DEM). *Powder Technology*, 193 (3), 274–288. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2009.03.012>
- Shi, Q., Sakai, M. (2022). Recent progress on the discrete element method simulations for powder transport systems: A review. *Advanced Powder Technology*, 33 (8), 103664. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apt.2022.103664>
- Statsenko, V., Burmistenkov, O., Bila, T., Demishonkova, S. (2021). Determining the loose medium movement parameters in a centrifugal continuous mixer using a discrete element method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (111)), 59–67. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232636>
- Statsenko, V., Burmistenkov, O., Bila, T., Statsenko, D. (2022). Determining the relationship between the simulation duration by the discrete element method and the computer system technical characteristics. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (120)), 32–39. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.267033>
- Discrete Element Modeling - DEM Software | Altair EDEM. Available at: <https://altair.com/edem>
- Mindlin, R. D., Deresiewicz, H. (1953). Elastic Spheres in Contact Under Varying Oblique Forces. *Journal of Applied Mechanics*, 20 (3), 327–344. doi: <https://doi.org/10.1115/1.4010702>
- Python programming language. Available at: <https://www.python.org/>
- NumPy. The fundamental package for scientific computing with Python. Available at: <https://numpy.org/>
- Project Jupyter. Available at: <https://jupyter.org/>

21. Screw feeder – 4 models from D10 to D13. Available at: <https://www.palamaticprocess.com/bulk-handling-equipment/screw-feeder>
22. Screw Feeders. Available at: <https://www.screwconveyorbega.com/volumetric-screw-conveyor>
23. Bunker-zhyvylynyk dlia ekstrudera, hranuliatora. Available at: <https://tehnomashstroy.com.ua/ua/p43633546-bunker-pitatel-dlya.html>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291877
DETERMINING THE INFLUENCE OF AN ARTIFICIAL DEFECT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF A FLEXIBLE PIPELINE MATERIAL DURING A RUPTURE TEST (p. 29–37)

Sergii Nazarenko

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0891-0335>

Roman Kovalenko

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2083-7601>

Andrii Kalynovskiy

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1021-5799>

Volodymyr Nazarenko

Main Department of the State Emergency Service of Ukraine
 in the Kharkiv Region, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4145-8935>

Andrii Pobidash

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8736-0524>

Yevheniia Kravchenko

Main Department of the State Emergency Service of Ukraine
 in the Kharkiv Region, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0503-1343>

Olga Shoman

National Technical University
 «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3660-0441>

Volodymyr Danylenko

National Technical University
 «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4952-7498>

Olena Sydorenko

National Technical University
 «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5506-498X>

The object of research is the phenomenon of influence of hidden defects on the mechanical properties of the material of flexible pipelines. T-type pressure fire hoses with an inner diameter of 77 mm were used as test samples of flexible pipelines. During the operation of pressurized fire hydrants and their laying on vertical surfaces, they are subjected to significant bursting pressures in their longitudinal direction. That is, such operating modes of the sleeve may occur during its operation. The research was carried out on the FP 100/1 bursting machine, in which the test samples were fixed.

The dependence of the stiffness and normal elasticity of the material of the flexible pipeline on the depth and length of the artificial defect when testing it for breaking has been established. With an artificial defect depth of 0.2 mm and its length from 0 to 40 mm, the stiffness of the flexible pipeline material decreases from 573.812 kN/m to 478.276 kN/m. With the indicated values of the

defect, the normal elasticity ranged from 86.46 MPa to 64.567 MPa. When the depth of the defect increases by 0.4 mm, the stiffness of the sleeve material decreases to 432.902 kN/m, and the normal elasticity decreases to 58.442 MPa.

The obtained results are explained by the fact that when the thickness of the threads of the base of the power frame is reduced by 33 %, the longitudinal stiffness and normal elasticity of the material of the flexible pipeline are reduced by 25 % and 26 %, respectively.

The results of these studies are needed in practice because they can make it possible to develop new or improve existing methods of detecting hidden defects in the material from which flexible pipelines are made.

Keywords: pressure fire hose, flexible pipeline, normal elasticity, longitudinal stiffness of the material, artificial defect.

References

1. Tiutiunyk, V. V., Ivanets, H. V., Tolkunov, I. A., Stetsyuk, E. I. (2018). System approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 1, 99–105. doi: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/7>
2. Arunachala, P. K., Rastak, R., Linder, C. (2021). Energy based fracture initiation criterion for strain-crystallizing rubber-like materials with pre-existing cracks. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 157, 104617. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmps.2021.104617>
3. Tonatto, M. L. P., Forte, M. M. C., Tita, V., Amico, S. C. (2016). Progressive damage modeling of spiral and ring composite structures for offloading hoses. *Materials & Design*, 108, 374–382. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.06.124>
4. Wei, D., An, C., Wu, C., Duan, M., Estefen, S. F. (2022). Torsional structural behavior of composite rubber hose for offshore applications. *Applied Ocean Research*, 128, 103333. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apor.2022.103333>
5. Sun, Z., Huang, W., Lu, H., Bu, Y., Yin, Y., Wang, S., Fan, Y. (2023). Mechanical Characteristics of Fiber-Reinforced Flexible Pipe Subjected to Axial Tensile Load. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11 (3), 586. doi: <https://doi.org/10.3390/jmse11030586>
6. Zhu, X., Lei, Q., Meng, Y., Cui, X. (2021). Analysis of tensile response of flexible pipe with ovalization under hydrostatic pressure. *Applied Ocean Research*, 108, 102451. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apor.2020.102451>
7. de Sousa, J. R. M., Magluta, C., Roitman, N., Campello, G. C. (2018). On the extensional-torsional response of a flexible pipe with damaged tensile armor wires. *Ocean Engineering*, 161, 350–383. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.04.091>
8. Yim, K.-H., Jang, B.-S. (2016). A Comparative Study for the Prediction of Ultimate Tensile Strength in Flexible Pipes. Paper presented at the Offshore Technology Conference Asia. doi: <https://doi.org/10.4043/26529-ms>
9. Fang, P., Xu, Y., Gao, Y., Ali, L., Bai, Y. (2022). Mechanical responses of a fiberglass flexible pipe subject to tension & internal pressure. *Thin-Walled Structures*, 181, 110107. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2022.110107>
10. Nazarenko, S., Kovalenko, R., Pobidash, A., Kalynovskiy, A. (2023). Experimental Study of the Sleeve Material Mechanical Properties during the Sample Tensile Test. *Key Engineering Materials*, 952, 111–118. doi: <https://doi.org/10.4028/p-qa0fox>
11. Larin, O., Morozov, O., Nazarenko, S., Chernobay, G., Kalynovskiy, A., Kovalenko, R. et al. (2019). Determining mechanical properties of a pressure fire hose the type of «T». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (102)), 63–70. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184645>
12. Nazarenko, S., Kovalenko, R., Asotskiy, V., Chernobay, G., Kalynovskiy, A., Tsebriuk, I. et al. (2020). Determining mechanical properties at the shear of the material of «T» type pressure fire hose

based on torsion tests. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (107)), 45–55. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212269>

13. Nazarenko, S., Kovalenko, R., Gavryliuk, A., Vinogradov, S., Kryvoshei, B., Pavlenko, S. et al. (2021). Determining the dissipative properties of a flexible pipeline's material at stretching in the transverse direction taking its structural elements into consideration. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (110)), 12–20. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.227039>
14. Nazarenko, S., Kushnareva, G., Maslich, N., Knaub, L., Naumenko, N., Kovalenko, R. et al. (2021). Establishment of the dependence of the strength indicator of the composite material of pressure hoses on the character of single damages. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (1 (114)), 21–27. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.248972>
15. Nazarenko, S., Kovalenko, R., Koliyov, O., Saveliev, D., Miachyn, V., Demianyshyn, V. (2022). Influence of the artificial defect on the flexible pipeline twist angle. *Archives of Materials Science and Engineering*, 114 (2), 58–68. doi: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.0026>
16. Cho, J. R. (2017). Anisotropic Large Deformation and Fatigue Damage of Rubber-fabric Braid Layered Composite Hose. *Procedia Engineering*, 173, 1169–1176. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.12.097>
17. Fedorko, G., Molnar, V., Dovica, M., Toth, T., Fabianova, J. (2015). Failure analysis of irreversible changes in the construction of the damaged rubber hoses. *Engineering Failure Analysis*, 58, 31–43. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.08.042>
18. Nishkala, K., Royan, B. T., Aishwarya, H. M., Sanjika, D. R. V., Kurup, D. G. (2018). Detection of Ruptures in Pipeline Coatings Using Split Ring Resonator Sensor. 2018 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI). doi: <https://doi.org/10.1109/icacci.2018.8554620>
19. Boaz, L., Kaijage, S., Sinde, R. (2014). An overview of pipeline leak detection and location systems. *Proceedings of the 2nd Pan African International Conference on Science, Computing and Telecommunications (PACT 2014)*. doi: <https://doi.org/10.1109/scat.2014.7055147>
20. Eckold, G., White, R. (2017). Real-Time Asset Optimisation – Integrity Management of Flexible Pipe Systems: Meeting the Challenge. Paper presented at the OTC Brasil. doi: <https://doi.org/10.4043/28078-ms>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292208

IDENTIFICATION OF THE REGULARITIES OF THE THERMOHYDRAULIC PROCESSES OF THE COOLING SYSTEM OF AN EXPERIMENTAL DEVICE BASED ON A MATHEMATICAL MODEL (p. 38–51)

Zhaina Sakhanova

D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,
Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8011-8613>

Zhenisgul Rakhmetullina

D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,
Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0554-7684>

Roza Mukasheva

D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,
Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4722-4576>

Raushan Mukhamedova

D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,
Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5665-6808>

Indira Uvaliyeva

D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,
Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2117-5390>

Galina Vityuk

National Nuclear Center, Kurchatov, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3321-8682>

The article is devoted to the study of a nitrogen supply system for cooling an experimental device designed for testing in a pulsed reactor with a graphite moderator. To analyze emergency situations caused by disruption of the nitrogen supply system in the cooling paths of the fuel assembly cover and the experimental device power housing, a mathematical model has been developed to describe thermodynamic processes in a system of interconnected tanks that simulate individual sections of the experimental device hydrodynamic cooling system in a pulsed graphite reactor and implemented in the mathematical interactive package for engineering calculations in MATLAB/Simulink. To study the normal operation of the system and analyze possible emergencies, the cooling system of the experimental device was presented in the form of groups of interconnected sections of the hydrodynamic system-tanks, with specified volumes and hydraulic resistances of pipelines connecting these tanks. Verification of the model, calculations of the experimental device cooling system normal operation mode, calculations of emergency situations caused by a violation of the nitrogen supply system normal operation in the cooling paths of the fuel assembly cover were carried out, in particular, it was found that for the cooling system of the experimental device WF-2, the breakdown of the gearbox P-12 can cause depressurization of the fuel assembly cover and an increase in pressure in the power housing, the opening of the safety valve prevents exceeding the pressure limit in the housing, the device maintains integrity even in emergency situations, without being subjected to destruction of the power elements of the structure at a pressure of up to 8 MPa.

Keywords: pulsed reactor with graphite moderator, emergency analysis, heterogeneous processes, mathematical modeling, model verification.

References

1. Shcherba, V. E., Pavlyuchenko, E. A., Nosov, E. Yu., Bulgakova, I. Yu. (2022). Approximation of the compression process to isothermal in a reciprocating compressor with a liquid piston. *Applied Thermal Engineering*, 207, 118151. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118151>
2. Batyrbekov, E., Vityuk, V., Vurim, A., Vityuk, G. (2023). Experimental opportunities and main results of the impulse graphite reactor use for research in safety area. *Annals of Nuclear Energy*, 182, 109582. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2022.109582>
3. Yang, L.-H., Liang, J.-D., Hsu, C.-Y., Yang, T.-H., Chen, S.-L. (2019). Enhanced efficiency of photovoltaic panels by integrating a spray cooling system with shallow geothermal energy heat exchanger. *Renewable Energy*, 134, 970–981. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.11.089>
4. Hashem, G., Mahkamov, K., Belgasim, B., Elsharif, N., Makhkamova, I. (2021). Development and experimental investigation of a novel solar-powered cooling system. *Energy Conversion and Management*, 244, 114486. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114486>
5. Wang, G., Yu, Y., Liu, H., Gong, C., Wen, S., Wang, X., Tu, Z. (2018). Progress on design and development of polymer electrolyte membrane fuel cell systems for vehicle applications: A review. *Fuel Processing Technology*, 179, 203–228. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.06.013>
6. Zabriskie, A., Schunert, S., Schwen, D., Ortensi, J., Baker, B., Wang, Y. et al. (2018). A Coupled Multiscale Approach to TREAT LEU

Feedback Modeling Using a Binary-Collision Monte-Carlo – Informed Heat Source. *Nuclear Science and Engineering*, 193 (4), 368–387. doi: <https://doi.org/10.1080/00295639.2018.1528802>

7. Gupta, S., Sharma, V. K. (2020). Design and analysis of metal hydride reactor embedded with internal copper fins and external water cooling. *International Journal of Energy Research*, 45 (2), 1836–1856. doi: <https://doi.org/10.1002/er.5859>
8. Akay, O. E., Das, M. (2021). Modeling the total heat transfer coefficient of a nuclear research reactor cooling system by different methods. *Case Studies in Thermal Engineering*, 25, 100914. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.100914>
9. Vyawahare, V. A., Nataraj, P. S. V. (2013). Fractional-order modeling of neutron transport in a nuclear reactor. *Applied Mathematical Modelling*, 37 (23), 9747–9767. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.05.023>
10. Vyawahare, V. A., Nataraj, P. S. V. (2013). Development and analysis of some versions of the fractional-order point reactor kinetics model for a nuclear reactor with slab geometry. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 18 (7), 1840–1856. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2012.11.012>
11. Krutov, V. I. (Ed.) (1981). *Technical thermodynamics*. Moscow: Higher School.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292432

**DESIGN AND RESEARCH OF THE GROUND
ROBOTIC SYSTEM STRUCTURE FOR WEAPONS
REMOTE CONTROL (p. 52–60)**

Ivan Dehtiarov

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8535-987X>

Petro Leontiev

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9494-9078>

Dmytro Miroshnychenko

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6785-8996>

Vadym Lanchynskyi

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0777-9980>

Pavlo Buhaiets

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7772-267X>

During hostilities, ground robotic systems play an important role in minimizing losses of servicemen and suspending the combat capabilities of troops. For firing, robotic complexes are equipped with gun turrets. Researchers are conducting research to improve the performance, reliability and firing accuracy of such turrets. This work describes the design and research of an experimental sample of a ground robotic system, which is equipped with a turret for controlling the position of a machine gun. The description and results of experimental studies of dynamic loads during robot movement at different speeds and road conditions are presented. It was established that the values of the maximum accelerations that must be worked out by the stabilization system during operation for the experimental design of the robot do not exceed 20 rad/s^2 . The possibility of using counterweights was considered to reduce the torque of the turret guidance drive while reducing the dimensions of the robotic system structure. The description of the experimental module equipped with a control and measurement system and the results of experimental studies on determining the power of the turret drives during the manipulation of the structure are presented. A procedure of dynamic

analysis and the results of modeling the movement of the gun turret in the ANSYS software package are presented. The proposed method for designing the structure ensures the determination of the impact on the structure of the complex shape of loads caused by its manipulation, to compensate for the exciting loads when the robotic system is moved over the terrain. With the help of this method, it is possible to determine and minimize the power, and therefore the energy consumption, of azimuth and lifting electric drives at the design stage.

Keywords: gun turret, ground robot, combat module, dynamic analysis, robotics, moment sensor.

References

1. Zalyпка, V. D. (2022). Some features of the creation and application of ground robotic complexes in the leading countries of the world and Ukraine. *Scientific Bulletin of UNFU*, 32 (4), 60–65. doi: <https://doi.org/10.36930/40320410>
2. Unmanned Systems Integrated Roadmap 2017-2042 (2018). AD1059546. Technical Report. Office of the Assistant Secretary of Defense for Acquisition Washington United States. Available at: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD1059546>
3. The U.S. Army Robotic and Autonomous Systems Strategy (2017). Available at: https://mronline.org/wp-content/uploads/2018/02/RAS_Strategy.pdf
4. The U.S. Army Operating Concept: Win a Complex World (2014). TRADOC Pamphlet 525-3-1. U.S. Department of the Army. Available at: <https://usacac.army.mil/sites/default/files/publications/Army%20Operating%20Concept%202014%20%28TP525-3-1%29.pdf>
5. Sokolov, O., Hošovský, A., Trojanová, M. (2023). Design, Modelling, and Control of Continuum Arms with Pneumatic Artificial Muscles: A Review. *Machines*, 11 (10), 936. doi: <https://doi.org/10.3390/machines11100936>
6. Andersson, C. A. (2022). The unmanned ground vehicles to be used in future military operations. *Tiede Ja Ase*, 2021 (79). Available at: <https://journal.fi/ta/article/view/113769>
7. Boiova robotyzovana platforma «LASKA» (2017). Available at: https://www.ukrmilitary.com/2017/06/laska-ugv.html#google_vignette
8. Roboneers. Available at: <https://roboneers.net/>
9. Moskalenko, V., Kharchenko, V., Moskalenko, A., Kuzikov, B. (2023). Resilience and Resilient Systems of Artificial Intelligence: Taxonomy, Models and Methods. *Algorithms*, 16 (3), 165. doi: <https://doi.org/10.3390/a16030165>
10. Li, C., Wang, X., Ma, Y., Xu, F., Yang, G. (2023). The prediction of projectile-target intersection for moving tank based on adaptive robust constraint-following control and interval uncertainty analysis. *Defence Technology*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2023.01.006>
11. Yuan, S.-S., Deng, W.-X., Yao, J.-Y., Yang, G.-L. (2023). Robust adaptive precision motion control of tank horizontal stabilizer based on unknown actuator backlash compensation. *Defence Technology*, 20, 72–83. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2022.09.002>
12. Mao, B. Q., Wang, Z. Q., Chang, L., Yang, Y. Y., Xu, Z. H., Han, X. P. (2020). Research on muzzle dynamic analysis of an overhead weapon station with the viscoelastic elastomer damper. *Journal of Physics: Conference Series*, 1507 (10), 102042. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1507/10/102042>
13. Banerjee, S., Balamurugan, V., Sunil, M., Srinivasan, G. (2016). Transient Dynamic Finite Element Analysis of the Air-defence Weapon System Mount Assembly of Tracked Vehicle. *Procedia Engineering*, 144, 382–389. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.05.147>
14. Kari, A., Jovanovic, D., Jerkovic, D., Hristov, N. (2016). Stress analysis of integrated 12.7 mm machine gun mount. *Scientific Technical Review*, 66 (4), 47–51. doi: <https://doi.org/10.5937/str1604047k>
15. Balla, J., Krist, Z., Le, C. I. (2015). Experimental study of turret-mounted automatic weapon vibrations. *International Journal of*

- Mechanics, 9 (1), 16–25. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/275207714>
16. Anguek, O., Bounab, B. (2022). Multi-objective design optimization of a Turret's U-bracket mounted on moving platform. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 236 (24), 11371–11388. doi: <https://doi.org/10.1177/09544062221115106>
 17. Vanyeyev, S. M., Miroshnichenko, D. V., Rodymchenko, T. S., Protsenko, M., Smolenko, D. V. (2019). Data Measuring System for Torque Measurement on Running Shafts Based on a Non-Contact Torsional Dynamometer. Journal of Engineering Sciences, 6 (2), e17–e23. doi: [https://doi.org/10.21272/es.2019.6\(2\).e3](https://doi.org/10.21272/es.2019.6(2).e3)
 18. Kulinchenko, H., Zhurba, V., Panych, A., Leontiev, P. (2023). Development of the method of constructing the expander turbine rotation speed regulator. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (2 (122)), 44–52. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276587>
 19. Nurprasetio, I. P., Aziz, M., Budiman, B. A., Afwan, A. A. (2018). Development of Static and Dynamic Online Measurement System for Ground Vehicles. 2018 5th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT). doi: <https://doi.org/10.1109/icevt.2018.8628346>
 20. Weidinger, P., Foyer, G., Kock, S., Gnauert, J., Kumme, R. (2019). Calibration of torque measurement under constant rotation in a wind turbine test bench. Journal of Sensors and Sensor Systems, 8 (1), 149–159. doi: <https://doi.org/10.5194/jsss-8-149-2019>
 21. Popelka, J., Scholz, C. (2018). Measuring the Torque of a Combustion Engine. MATEC Web of Conferences, 220, 03006. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822003006>
 22. Ivanov, V., Botko, F., Dehtiarov, I., Kočiško, M., Evtuhov, A., Pavlenko, I., Trojanowska, J. (2022). Development of Flexible Fixtures with Incomplete Locating: Connecting Rods Machining Case Study. Machines, 10 (7), 493. doi: <https://doi.org/10.3390/machines10070493>
 23. Ivanov, V., Dehtiarov, I., Pavlenko, I., Liaposhchenko, O., Zaloga, V. (2019). Parametric Optimization of Fixtures for Multiaxis Machining of Parts. Advances in Manufacturing II, 335–347. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-18789-7_28

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.290583
DEVISING A METHOD TO DESIGN SUPERSONIC NOZZLES OF ROCKET ENGINES BY USING NUMERICAL ANALYSIS METHODS (p. 61–67)

Ivan Dubrovskiy

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0707-0074>

Valeriy Bucharskiy

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8245-5652>

The object of research is supersonic nozzles of liquid-propellant rocket engines. The work considers the problem of the lack of an effective method for profiling the supersonic contour of the nozzle, which will generate maximum thrust. For its solution, a method is proposed, the essence of which is approximating the nozzle contour with a power-law polynomial and determining the values of its coefficients by solving a multidimensional minimization problem using numerical modeling methods. The expression for the axial component of the thrust with the opposite sign at the specified values of atmospheric pressure and radius at the nozzle section was chosen as the objective function in this paper.

Using the proposed method, contours of optimal nozzles were obtained based on polynomials of powers 2, 3, and 4, which were compared with nozzles obtained by the generally accepted Rao

method. The maximum value of the relative deviation modulus calculated during the comparison did not exceed 3 %, which allows us to assert the correctness of the obtained results. The existence of such a discrepancy is explained by the difference in the numerical modeling method used. In contrast to the method of characteristics common in similar problems, the method of finite volumes of the Godunov type was used in the work. This has made it possible to reduce the sensitivity of the calculation to initial and boundary conditions and make decisions regardless of the flow regime of combustion products. In addition, the use of the extended cells method for the integration of finite volumes at the boundary of the calculation domain significantly reduced the total time of solving the problem of profiling the contour of the optimal nozzle.

Keywords: supersonic nozzle contour optimization, liquid-propellant rocket engines, extended cells method.

References

1. Biblarz, O., Sutton, G. P. (2016). Rocket propulsion elements. Wiley & Sons. Available at: <https://www.wiley.com/en-us/Rocket+Propulsion+Elements%2C+9th+Edition-p-9781118753910>
2. Huang, D. H., Huzel, D. K. (1992). Modern Engineering for Design of Liquid-Propellant Rocket Engines. American Institute of Aeronautics and Astronautics. doi: <https://doi.org/10.2514/4.866197>
3. de Iaco Veris, A. (2021). Fundamental Concepts of Liquid-Propellant Rocket Engines. Springer Aerospace Technology. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54704-2>
4. Schomberg, K., Olsen, J., Neely, A., Doig, G. (2019). Design of an arc-based thrust-optimized nozzle contour. Progress in Propulsion Physics – Volume 11. doi: <https://doi.org/10.1051/eucass/201911517>
5. Schomberg, K., Olsen, J., Doig, G. (2016). Design of High-Area-Ratio Nozzle Contours Using Circular Arcs. Journal of Propulsion and Power, 32 (1), 188–195. doi: <https://doi.org/10.2514/1.b35640>
6. Fernandes, T., Souza, A., Afonso, F. (2023). A shape design optimization methodology based on the method of characteristics for rocket nozzles. CEAS Space Journal, 15 (6), 867–879. doi: <https://doi.org/10.1007/s12567-023-00511-1>
7. Frey, M., Makowka, K., Aichner, T. (2016). The TICTOP nozzle: a new nozzle contouring concept. CEAS Space Journal, 9 (2), 175–181. doi: <https://doi.org/10.1007/s12567-016-0139-z>
8. Riedmann, H., Kniesner, B., Frey, M., Munz, C.-D. (2014). Modeling of combustion and flow in a single element GH2/GO2 combustor. CEAS Space Journal, 6 (1), 47–59. doi: <https://doi.org/10.1007/s12567-013-0056-3>
9. Yu, K., Chen, Y., Huang, S., Lv, Z., Xu, J. (2020). Optimization and analysis of inverse design method of maximum thrust scramjet nozzles. Aerospace Science and Technology, 105, 105948. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ast.2020.105948>
10. Yu, K., Chen, Y., Huang, S., Xu, J. (2020). Inverse design method on scramjet nozzles based on maximum thrust theory. Acta Astronautica, 166, 162–171. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2019.10.024>
11. Ferziger, J. H., Perić, M., Street, R. L. (2020). Computational Methods for Fluid Dynamics. Springer, 596. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-99693-6>
12. Martins, J. R. R. A., Ning, A. (2021). Engineering Design Optimization. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108980647>
13. Barbeau, E. J. (1989). Polynomials. Springer. Available at: <https://link.springer.com/book/9780387406275>
14. RD-107. Wikimedia. Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/RD-107>
15. Dubrovskiy, I., Bucharskiy, V. (2023). Statement of the problem of designing a liquid rocket engine dual bell nozzle of the maximum thrust using the direct method of the calculus of variations. Challenges and issues of modern science. Oles Honchar Dnipro National University. Available at: <https://fti.dp.ua/conf/2023/05291-0602/>

16. Bucharskiy, V., Zhang, L. H., Wan, Y. L. (2018). Improvement in Time Efficiency in Numerical Simulation for Solid Propellant Rocket Motors (SPRM). *Journal of Propulsion Technology*, 39 (1), 92–99. doi: <https://doi.org/10.13675/j.cnki.tjjs.2018.01.010>
17. Drikakis, D., Rider, W. (2005). *High-Resolution Methods for Incompressible and Low-Speed Flows*. Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/b137615>
18. Shu, C.-W. (1998). Essentially non-oscillatory and weighted essentially non-oscillatory schemes for hyperbolic conservation laws. *Advanced Numerical Approximation of Nonlinear Hyperbolic Equations*, 325–432. doi: <https://doi.org/10.1007/bfb0096355>
19. Toro, E. F. (2009). *Riemann Solvers and Numerical Methods for Fluid Dynamics*. Springer, 724. doi: <https://doi.org/10.1007/b79761>
20. Dubrovskiy, I., Bucharskiy, V. (2020). Development of a method of extended cells for the formulation of boundary conditions in numerical integration of gas dynamics equations in the domains of a curvilinear shape. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (107)), 74–82. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.213795>
21. Dubrovskiy, I., Bucharskiy, V. (2023). The application of the extended cells method to simulate the flow of combustion gases in the Ipre chamber. *Journal of Rocket-Space Technology*, 31 (4), 32–39. doi: <https://doi.org/10.15421/452305>
22. Rao, G. V. R. (1958). Exhaust Nozzle Contour for Optimum Thrust. *Journal of Jet Propulsion*, 28 (6), 377–382. doi: <https://doi.org/10.2514/8.7324>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292690

DETERMINING BASIC CHARACTERISTICS OF BULK CARRIERS AT THE EARLY STAGES OF DESIGN (p. 68–77)

Oleksandr Demidiuk

Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1450-4077>

Michail Kosoy

Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9757-644X>

Anastasiia Zaiets

Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5803-9069>

This paper considers the task to determine the basic characteristics of bulkers vessels.

Available studies that define the main characteristics of ships were analyzed. The complexity of the task to choose a prototype in the process of determining the basic characteristics of bulk carriers at the initial stages of design has been shown.

The accepted assumption implied that each ship in the sample (a ship database) was designed in such a way that some operational qualities and/or economic characteristics of a vessel are optimal in a certain sense.

To solve the task, stochastic factor analysis was used, and the method of principal components was applied, which makes it possible to identify numerical characteristics that affect the parameters of the entire system but are not clearly observed. The factors were compiled that are dimensionless sets of characteristics of sample vessels, which are, in fact, new phase orthogonal coordinates of the problem with unequal variances of the sample along the coordinate directions. Evaluating the significance of correlations of factors and vectors of the sample data makes it possible to discard factors that have a weak influence on the values of the parameters of the sample vessels. Thus, the model of the problem is simplified while preserving essential connections. The analysis of the calculation data revealed that the number of significant factors due to the use of the principal

component method decreased from 7 to 3. It was determined that the ships of the same designers are indeed grouped by the value of the factor sets. In the absence of an original algorithm for determining the main characteristics of the vessel at the initial stage of design, the application of the described factor analysis procedure should help with the definition of the main factors that affect the quality of the design. Further, it is possible to apply more subtle mechanisms for project optimization according to selected economic and technical parameters. The data of the numerical calculation of integrated characteristics of the ship are given.

Keywords: initial design stage, basic characteristics of bulk carriers, factor analysis, method of main components.

References

1. Nekrasov, V. A., Kabanova, N. N. (2008). Zadacha funktsionirovaniya sudna, ekspluatiruyushchegosya na nezakreplennykh liniyah perevozok, v probleme ego proektirovaniya. *NUK, Sbornik nauchnykh trudov NUK*, 6 (423), 35–40.
2. Kabanova, N. N. (2012). Reshenie stohasticheskoy zadachi optimizatsii harakteristik trampovogo sudna. *Herald of the Odessa National Maritime University*, 34, 172–183. Available at: <http://visnyk.onmu.odessa.ua/index.php/1/issue/view/36/29>
3. Trincas, G., Mauro, F., Braidotti, L., Bucci, V. (2018). Handling the path from concept to preliminary ship design. CRC Press. Available at: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780429440533-15/handling-path-concept-preliminary-ship-design-trincas-mauro-braidotti-bucci>
4. la Monaca, U., Bertagna, S., Marinò, A., Bucci, V. (2019). Integrated ship design: an innovative methodological approach enabled by new generation computer tools. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 14 (1), 59–76. doi: <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00612-4>
5. Nikolopoulos, L., Boulougouris, E. (2020). A novel method for the holistic, simulation driven ship design optimization under uncertainty in the big data era. *Ocean Engineering*, 218, 107634. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107634>
6. Koutroukis, G., Papanikolaou, A., Nikolopoulos, L., Sames, P., Köpke, M. (2013). Multi-objective optimization of container ship design. *Developments in Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources*, 477–489. doi: <https://doi.org/10.1201/b15813-58>
7. Priftis, A., Boulougouris, E., Turan, O. (2018). Parametric design and holistic optimisation of post-panamax containerships. Conference: 7th European Transport Research Arena (TRA 2018). Available at: https://www.researchgate.net/publication/324603164_Parametric_design_and_holistic_optimisation_of_post-panamax_containerships
8. Frantsev, M. E. (2014). Ispol'zovanie chennykh metodov pri realizatsii zadachi parametricheskogo proektirovaniya kompozitnogo promyslovogo sudna dlya pribrezhnogo lova. *Sudostroenie*, 4, 30–34.
9. Frantsev, M. E. (2010). Proektnoe obosnovanie optimal'nykh sochetaniy harakteristik massy, moshchnosti i skorosti dlya skorostnykh sudov iz kompozitov metodami analiza baz dannykh. *Transportnoe stroitel'stvo*, 3, 53–59.
10. Statistical Analysis and Determination of Regression Formulas for Main Dimensions of Container Ships based on IHS Fairplay Data. Available at: <https://docplayer.net/50727912-Statistical-analysis-and-determination-of-regression-formulas-for-main-dimensions-of-container-ships-based-on-ihs-fairplay-data.html>
11. Cepowski, T., Chorab, P. (2021). Determination of design formulas for container ships at the preliminary design stage using artificial neural network and multiple nonlinear regression. *Ocean Engineering*, 238, 109727. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109727>
12. Elvekrok, D. R. (1997). Concurrent Engineering in Ship Design. *Journal of Ship Production*, 13 (04), 258–269. doi: <https://doi.org/10.5957/jsp.1997.13.4.258>

13. Larkin, Yu. M., Onishchenko, A. F. (2015). Osobnosti proektirovaniya balkerov. Herald of the Odessa National Maritime University, 3, 219–228. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vonmu_2015_3_22
14. Pinskiy, A. N. (1977). Ispol'zovanie statisticheskikh metodov v algoritmah avtomatizirovannoy sistemy proektirovaniya. Voprosy sudostroeniya. Seriya «Proektirovaniya», 13, 131–140.
15. Zhukovskaya, V. M., Muchnik, I. B. (1976). Faktorniy analiz v sotsial'no-ekonomicheskikh issledovaniyakh. Moscow: «Statistika», 153.
16. Kim, Dzh.-O., Myuller, Ch. U., Klekka, U. R., Oldenderfer, M. S., Bleshfild, R. K. (1989). Faktorniy, diskriminantniy i klasterniy analiz. Moscow: «Finansy i statistika», 216.
17. Louli, D., Maksvell, A. (1967). Faktorniy analiz kak statisticheskiy metod. Moscow: Mir, 144.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291554
CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL FOR APPROXIMATING THE SPHERE BY STRIPS OF UNFOLDING SURFACES (p. 78–84)

Andrii Nesvidomin

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

Ali Kadhim Ahmed

University of Diyala, Baqubah, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6625-8325>

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>

Victor Nesvidomin

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1495-1718>

Viktor Vereshchaga

Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0038-8300>

Serhii Andrukh

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5041-885X>

Oleksandr Pavlenko

Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8646-2622>

Yuriy Semirnenko

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4230-4614>

Kseniia Lysenko

Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3047-6352>

Approximating non-expandable surfaces by compartments of expandable ones makes it possible to simplify the process of obtaining the required shape without loss of operational properties. There is a known approximation of a sphere using the example of a ball when

its surface can consist of polygons. However, this list does not exhaust the possible options for approximating the sphere. Its approximation by truncated cones tangent to parallels or by congruent cylindrical petals tangent to meridians is known.

Any line on the surface of a sphere is a line of curvature. This means that the common line of contact of the expanded surface with the sphere will be a line of curvature for the expanded surface as well (rectilinear generatrices of the expanded surface will cross this line at a right angle). When building a sweep of such a surface, the line of contact will be transformed but the rectilinear generatrices will remain perpendicular to it, which simplifies the construction of the sweep.

The approximation of the sphere by congruent strips, the number of which can be different, starting from one, is considered. A necessary condition for such an approximation is a common line of contact of adjacent strips. To this end, the line of contact on the sphere or the guide curve must have an appropriate shape. Such a curve is taken as a slope line (a curve whose tangents form a constant angle of inclination to the horizontal plane). The study results are the parametric equations of the strip touching the sphere and its corresponding equations on the sweep. The construction of the strip on the sweep is explained by the invariance of the geodesic curvature of the guide curve when the strip is bent until it aligns with the plane. This explains the difference between the proposed approach and conventional methods of sphere approximation.

Approximating the sphere by strips of unfolding surfaces has a practical application in architecture with spherical elements, as well as in religious buildings with domes in the form of a part of the sphere.

Keywords: sweep of the sphere, line of contact, guide curve, geodesic curve, parametric equations.

References

1. Gaponova, O. P., Antoszewski, B., Tarelnyk, V. B., Kurp, P., Myslyvchenko, O. M., Tarelnyk, N. V. (2021). Analysis of the Quality of Sulfomolybdenum Coatings Obtained by Electrospark Alloying Methods. *Materials*, 14 (21), 6332. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14216332>
2. Tarelnyk, V. B., Konoplianchenko, Ie. V., Gaponova, O. P., Tarelnyk, N. V., Martsynkovskyy, V. S., Sarzhanov, B. O. et al. (2020). Effect of Laser Processing on the Qualitative Parameters of Protective Abrasion-Resistant Coatings. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 58 (11-12), 703–713. doi: <https://doi.org/10.1007/s11106-020-00127-8>
3. Gorobets, V., Trokhaniak, V., Bohdan, Y., Antypov, I. (2021). Numerical Modeling Of Heat Transfer And Hydrodynamics In Compact Shifted Arrangement Small Diameter Tube Bundles. *Journal of Applied and Computational Mechanics*, 7 (1), 292–301. doi: <https://doi.org/10.22055/jacm.2020.31007.1855>
4. Kresan, T., Pylypaka, S., Ruzhylo, Z., Rogovskii, C., Trokhaniak, O. (2022). Construction of conical axoids on the basis of congruent spherical ellipses. *Archives of Materials Science and Engineering*, 113 (1), 13–18. doi: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.6967>
5. Pylypaka, S. F., Hryshchenko, I. Yu., Nesvidomyna, O. V. (2018). Konstruiuvannia izometrychnykh sitok na poverkhni kuli. *Prykladna heometriya ta inzhenerna hrafika*, 94, 82–87. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/prgeoig_2018_94_16
6. Zhan, F., Zhang, C., Yu, Y., Chang, Y., Lu, S., Ma, F., Xie, X. (2021). EMLight: Lighting Estimation via Spherical Distribution Approximation. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 35 (4), 3287–3295. doi: <https://doi.org/10.1609/aaai.v35i4.16440>
7. Eder, M., Shvets, M., Lim, J., Frahm, J.-M. (2020). Tangent Images for Mitigating Spherical Distortion. 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). doi: <https://doi.org/10.1109/cvpr42600.2020.01244>

8. Eder, M., Frahm, J.-M. (2019). Convolutions on spherical images. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. Available at: https://openaccess.thecvf.com/content_CVPRW_2019/papers/SUMO/Eder_Convolutions_on_Spherical_Images_CVPRW_2019_paper.pdf
9. Pylypaka, S., Nesvidomina, O. (2019). Approximation of sphere applied to isometric coordinates, Continuous Tape. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering, 19 (1), 39–46.
10. Pylypaka, S. F., Grischenko, I. Yu., Kresan, T. A. (2018). Modelling of bands of unrolled surfaces, tangential to the sphere surface. Prykladni pytannia matematychnoho modeliuвання, 1, 81–88. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/apqmm_2018_1_10

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292431
FORMATION OF CONJUGATE CURVED SURFACES
THAT EXCLUDE INTERFERENCE (p. 85–90)

Nelli Ismailova

Military Academy, Odessa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0181-4420>

Tatiana Mohylianets

Military Academy, Odessa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0362-9907>

The object of the study is the method of geometric design of conjugate curved surfaces. The subject of the study is the possibility of achieving the absence of interference of the designed surfaces of kinematic pairs of technical structures, for example, products in mechanical engineering (cutting tools, gearing), based on an invariant method. This problem is of significant importance for a wide class of products, but especially for gears from the point of view of the precision of manufacturing the tooth surface, load-bearing capacity, and, consequently, the reliability and durability of the transmission. When calculating the strength, each tooth of the gear can be considered as a cantilever beam, loaded at the free end by the force of interaction with the second gear wheel. In the presence of interference (for trimming gears), not only the shape of the tooth surface is disrupted, but also the cross-sectional area of the tooth base is significantly reduced. Therefore, solving such a problem is important when designing and manufacturing gears. That is why, when forming the initial curved tool surface of a cutting tool, the conjugacy condition between the points of the product and the tool is taken into account.

As a result, when designing a cutting tool using the proposed invariant method using a unified methodology, a wide class of complex curved surfaces can be formed. In particular, this applies to technological operations on numerically controlled machines. The generated conjugate curvilinear transformations of the cutting tool using an invariant method make it possible to avoid interference of mating surfaces at the design stage. At the same time, the curvilinear characteristics of surfaces are analyzed, defining a family of normals as common to two conjugate surfaces with linear contact, which is essential for the design process.

Keywords: invariant method, cutting tool, mating surfaces, tooth interference, linear contact.

References

1. Podkorytov, A. M. (2000). Iteratsiynyi metod ta alhorytm vykliuchennia interferentsiyi skladnykh spriazhenykh poverkhon za napered zadanyim umovamy. Prykladna heometriya ta inzhenerna hrafika. Mizhvidomcha naukoivo-tekhnichna zbirka, 64, 109–113.
2. Havrylenko, Y., Kholodniak, Y., Vershkov, O., Naidysh, A. (2018). Development of the method for the formation of one-dimensional contours by the assigned interpolation accuracy. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (4 (91)), 76–82. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123921>
3. Jacob, D. V., Ramana, K. V., Rao, P. V. M. (2004). Automated manufacturability assessment of rotational parts by grinding. International Journal of Production Research, 42 (3), 505–519. doi: <https://doi.org/10.1080/00207540310001613674>
4. Abdel-Baky, R. A., Al-Ghefari, R. A. (2012). On the kinematic geometry of relative screw motions. Journal of Mechanical Science and Technology, 26 (8), 2497–2503. doi: <https://doi.org/10.1007/s12206-012-0624-z>
5. Saghafi, A., Farshidianfar, A. (2016). An analytical study of controlling chaotic dynamics in a spur gear system. Mechanism and Machine Theory, 96, 179–191. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2015.10.002>
6. Farshidianfar, A., Saghafi, A. (2014). Identification and control of chaos in nonlinear gear dynamic systems using Melnikov analysis. Physics Letters A, 378 (46), 3457–3463. doi: <https://doi.org/10.1016/j.physleta.2014.09.060>
7. Zheng, F., Hua, L., Han, X., Li, B., Chen, D. (2016). Linkage model and manufacturing process of shaping non-circular gears. Mechanism and Machine Theory, 96, 192–212. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2015.09.010>
8. Liu, X., Yang, Y., Zhang, J. (2016). Investigation on coupling effects between surface wear and dynamics in a spur gear system. Tribology International, 101, 383–394. doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2016.05.006>
9. Ismailova, N., Bogach, V., Lebedev, B. (2020). Development of a technique for the geometrical modeling of conjugated surfaces when determining the geometrical parameters of an engagement surface contact in kinematic pairs. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (1 (106)), 17–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209108>
10. Ismailova, N., Bogach, V., Lebedev, B., Oliinyk, N., Manakov, S. (2021). Modeling mated surfaces with the required parameters. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (1 (110)), 21–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.227691>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291881
TESTING A NEW TECHNIQUE FOR PRODUCING
ARTILLERY CARTRIDGE CASES FROM PIPE
WORKPIECE BY ROUGHING WITH A FRICTION
TOOL (p. 91–97)

Oleg Markov

Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9377-9866>

Serhii Shevtsov

Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4905-2170>

Natalia Hrudkina

Technical University «Metinvest Polytechnic», Zaporizhzhya, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0914-8875>

Vitalii Molodetskyi

Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1912-3689>

Anton Musorin

Engineer

Private Joint Stock Company «Novokramatorsky Mashinostroitelny

Zavod», Kramatorsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0571-8700>

Volodymyr Zinskyi

Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0504-7815>

The object of this study is the technological process of manufacturing parts such as artillery shells using pressure treatment methods. The work is aimed at solving the current scientific and technical task to improve the technological processes for manufacturing parts such as cartridge cases based on the use of a tangential rolling operation with a friction tool, which ensures the production of hollow products with a bottom. Using the finite element method, modeling of the bottom rolling processes was carried out, which made it possible to establish the effective geometry of the processed workpieces and their heating temperature. Recommendations have been devised for the design of new technological processes for roughing bottoms, which consist of determining the wall thickness of the workpiece before deformation, the heating temperature of the workpieces, and the amount of supply of the workpiece to the friction tool. The resulting recommendations were verified by experimental studies. Roughing of spherical bottoms should be carried out for pipes with a relative wall thickness (D/s) in the range of 15...20, the homologous heating temperature should be 0.8, and the relative feed of the workpiece into the friction tool should be 0.9. Testing the established relationships under laboratory conditions confirmed the recommendations for changing the shape of spherical bottoms during the roughing process. The results of metallographic studies on full-scale products confirm the results of the theoretical study. It is recommended to use this technique for products that have an axial hole (artillery shells, hydraulic cylinders, etc.), which will allow removing axial defects in the bottom after drilling the axial hole. The results could be used at machine-building enterprises in the manufacture of dual-use parts.

Keywords: workpiece deformation, cartridge case, hollow workpiece, pipe roughing, internal defects, FEM.

References

- Markov, O., Gerasimenko, O., Aliieva, L., Shapoval, A., Kosilov, M. (2019). Development of a new process for expanding stepped tapered rings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (98)), 39–46. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160395>
- Markov, O., Gerasimenko, O., Khvashchynskiy, A., Zhytnikov, R., Puzyr, R. (2019). Modeling the technological process of pipe forging without a mandrel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (1 (99)), 42–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.167077>
- Hrudkina, N., Aliieva, L., Abhari, P., Markov, O., Sukhovirska, L. (2019). Investigating the process of shrinkage depression formation at the combined radial-backward extrusion of parts with a flange. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (101)), 49–57. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.179232>
- Markov, O., Panov, V., Karnaukh, S., Khvashchynskiy, A., Zhytnikov, R., Kukhar, V. et al. (2020). Determining the deformed state in the process of rolling conical shells with a flange. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (1 (108)), 34–41. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.216523>
- Hrudkina, N., Aliiev, I., Markov, O., Savchenko, I., Sukhovirska, L., Tahan, L. (2021). Designing a kinematic module with rounding to model the processes of combined radial-longitudinal extrusion involving a tool whose configuration is complex. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (110)), 81–89. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.227120>
- Wu, Y., Dong, X., Yu, Q. (2015). Upper bound analysis of axial metal flow inhomogeneity in radial forging process. *International Journal of Mechanical Sciences*, 93, 102–110. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2015.01.012>
- Sizek, H. W. (2005). *Radial Forging. Metalworking: Bulk Forming*, 172–178. doi: <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v14a.a0003984>
- Markov, O., Kosilov, M., Panov, V., Kukhar, V., Karnaukh, S., Ragulina, N. et al. (2019). Modeling and improvement of saddling a stepped hollow workpiece with a profiled tool. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (1), 19–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.183663>
- Ghaei, A., Movahhedy, M. R., Karimi Taheri, A. (2008). Finite element modelling simulation of radial forging of tubes without mandrel. *Materials & Design*, 29 (4), 867–872. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2007.03.013>
- Fan, L., Wang, Z., Wang, H. (2014). 3D finite element modeling and analysis of radial forging processes. *Journal of Manufacturing Processes*, 16 (2), 329–334. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2014.01.005>
- Aliieva, L., Hrudkina, N., Aliiev, I., Zhibankov, I., Markov, O. (2020). Effect of the tool geometry on the force mode of the combined radial-direct extrusion with compression. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (104)), 15–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.198433>
- Burkin, S. P., Korshunov, E. A., Kolmogorov, V. L., Babailov, N. A., Nalesnik, V. M. (1996). A vertical automated forging center for the plastic deformation of continuously-cast ingots. *Journal of Materials Processing Technology*, 58 (2-3), 170–173. doi: [https://doi.org/10.1016/0924-0136\(95\)02146-9](https://doi.org/10.1016/0924-0136(95)02146-9)
- Sanjari, M., Saidi, P., Karimi Taheri, A., Hossein-Zadeh, M. (2012). Determination of strain field and heterogeneity in radial forging of tube using finite element method and microhardness test. *Materials & Design*, 38, 147–153. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.01.048>
- Knauf, F., Nieschwitz, P.-J., Holl, A., Pelster, H., Vest, R. (2011). Latest Development in Railway Axle and Thick-Walled Tube forging on a Hydraulic Radial Forging Machine Type SMX. 18th International Forgemasters Meeting. Market and Technical Proceedings. Pittsburgh, 215–220.
- Koppensteiner, R., Tang, Z. (2011). Optimizing Tooling And Pass Design For Effectiveness On Forged Product. 18th International Forgemasters Meeting. Market and Technical Proceedings. Pittsburgh, 225–229.
- Sheu, J.-J., Lin, S.-Y., Yu, C.-H. (2014). Optimum Die Design for Single Pass Steel Tube Drawing with Large Strain Deformation. *Procedia Engineering*, 81, 688–693. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.061>
- Hrudkina, N., Aliieva, L., Markov, O., Malii, K., Sukhovirska, L., Kuznetsov, M. (2020). Predicting the shape formation of parts with a flange and an axial protrusion in the process of combined aligned radial-direct extrusion. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (107)), 110–117. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212018>
- Li, Y., He, T., Zeng, Z. (2013). Numerical simulation and experimental study on the tube sinking of a thin-walled copper tube with axially inner micro grooves by radial forging. *Journal of Materials Processing Technology*, 213 (6), 987–996. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2012.12.002>
- Li, Y., Huang, J., Huang, G., Wang, W., Chen, J., Zeng, Z. (2014). Comparison of radial forging between the two- and three-split dies of a thin-walled copper tube during tube sinking. *Materials & Design* (1980–2015), 56, 822–832. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.11.079>
- Hrudkina, N., Aliieva, L., Markov, O., Kartamyshev, D., Shevtsov, S., Kuznetsov, M. (2020). Modeling the process of radial-direct extrusion with expansion using a triangular kinematic module. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (1 (105)), 17–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203989>
- Pantalé, O., Gueye, B. (2013). Influence of the Constitutive Flow Law in FEM Simulation of the Radial Forging Process. *Journal of Engineering*, 2013, 1–8. doi: <https://doi.org/10.1155/2013/231847>
- Kowalski, J., Hoderny, B., Malinowski, Z. (1987). Experimental investigation of the strain state in the ring-forging process. *Journal*

- of Mechanical Working Technology, 14 (3), 309–324. doi: [https://doi.org/10.1016/0378-3804\(87\)90016-7](https://doi.org/10.1016/0378-3804(87)90016-7)
23. Zhang, Q., Jin, K., mu, D., Ma, P., Tian, J. (2014). Rotary Swaging Forming Process of Tube Workpieces. *Procedia Engineering*, 81, 2336–2341. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.330>
 24. Wang, Z. G. (2011). The theory analysis and numerical simulation for the radial forging process of gun barrel. *Nanjing University of Science and Technology*, 28–30.
 25. Linardon, C., Favier, D., Chagnon, G., Gruez, B. (2014). A conical mandrel tube drawing test designed to assess failure criteria. *Journal of Materials Processing Technology*, 214 (2), 347–357. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2013.09.021>
 26. Khayatzadeh, S., Poursina, M., Golestanian, H. (2008). A Simulation of Hollow and Solid Products in Multi-Pass Hot Radial Forging Using 3D-FEM Method. *International Journal of Material Forming*, 1 (S1), 371–374. doi: <https://doi.org/10.1007/s12289-008-0072-6>
 27. Özer, A., Sekiguchi, A., Arai, H. (2012). Experimental implementation and analysis of robotic metal spinning with enhanced trajectory tracking algorithms. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 28 (4), 539–550. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2011.12.003>
 28. Polyblank, J. A., Allwood, J. M. (2015). Parametric toolpath design in metal spinning. *CIRP Annals*, 64 (1), 301–304. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2015.04.077>
 29. Music, O., Allwood, J. M., Kawai, K. (2010). A review of the mechanics of metal spinning. *Journal of Materials Processing Technology*, 210 (1), 3–23. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2009.08.021>
 30. Automatische Schwenkformmaschine Modell AST (1989). Lizenz Autospin/Kieserling Kieserling & Albrecht GmbH & Co. KG.
 31. Palter, H. (1982). Herstellung von Gasflaschen und Stobdampferrohren auf einer automatischen Rohrschleibmosehine. *Blech-Rohr-Profile*, 11, 529–530.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292435

REVEALING PATTERNS IN THE INFLUENCE OF VARIABLE PERMEABILITY OF WELL BOTTOMHOLE ZONES ON THE OPERATIONAL MODES OF UNDERGROUND GAS STORAGE FACILITIES (p. 98–112)

Myroslav Prytula

Branch «Research and Design Institute of Gas Transport»
PJSC «Ukrtransgaz», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9259-4114>

Nazar Prytula

Branch «Research and Design Institute of Gas Transport»
PJSC «Ukrtransgaz», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9451-275X>

Yaroslav Pyanylo

Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, SME, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5458-3526>

Zoia Prytula

Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, SME, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7131-0290>

Olga Khymko

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2641-8133>

The object of this study is underground gas storage facilities (UGSF). The main problem being solved is to ensure effective

management of the operation process of underground gas storage facilities (UGSF) at operational and forecast time intervals. One of the main factors that affect the operating modes of UGSF is significantly non-stationary filtration processes that take place in the bottomhole zones of wells. The complexity of assessing the multifactorial impact on depression/repression around the wells affects both the speed and accuracy of calculating the mode parameters of UGSF operation. Analysis of the results of well studies revealed a significant area of uncertainty in the calculation of the filtration resistance coefficients of their bottomhole zones. A satisfactory accuracy of the result in the expected time was achieved by building a model of integrated consideration of the influence of the parameters of all the bottomhole zones of the wells on the mode of UGSF operation. It turned out that the integrated consideration of the impact on the parameters of the bottomhole zones of the wells neutralized the effect of significant changes in the filtration resistance coefficients of the wells and ensured a sufficient speed of calculation of UGSF operation modes. Simultaneous simulation of ten operating UGSFs under the peak mode of withdrawal the entire available volume of active gas takes no more than six minutes. The speed of simulation of filtration processes in the bottomhole zones of wells ensured finding the best of them according to one or another criterion of operation mode quality.

As a result of the research, a model was built and implemented by software, which was tested under real operating conditions and provides optimal planning of UGSF operating modes for given time intervals. Its use is an effective tool for the operational calculation of current modes and technical capacity of UGSF for a given pressure distribution in the system of main gas pipelines. The performance of the constructed mathematical methods has been confirmed by the results of numerical experiments.

Keywords: underground gas storage facility, filtration resistance, Darcy's law, skin factor, Forchheimer coefficient.

References

1. Aris, R. (1990). *Vectors, tensors and the basic equations of fluid mechanics*. Courier Corporation, 286.
2. Wang, C. Y. (1991). Exact Solutions of the Steady-State Navier-Stokes Equations. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 23 (1), 159–177. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.fl.23.010191.001111>
3. Suter, S. P., Skalak, R. (1993). The History of Poiseuille's Law. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 25 (1), 1–20. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.fl.25.010193.000245>
4. Whitaker, S. (1986). Flow in porous media I: A theoretical derivation of Darcy's law. *Transport in Porous Media*, 1 (1), 3–25. doi: <https://doi.org/10.1007/bf01036523>
5. Kondrat, R. M., Khaidarova, L. I. (2019). The Influence of the Characteristics of the Gas Reservoirs Perforation-Entering on the Well Production Capabilities. *Prospecting and Development of Oil and Gas Fields*, 4 (73), 46–53. doi: [https://doi.org/10.31471/1993-9973-2019-4\(73\)-46-53](https://doi.org/10.31471/1993-9973-2019-4(73)-46-53)
6. Kondrat, R. M., Shchepanskyi, M. I., Khaidarova, L. I. (2020). The influence of contamination of the bottom-hole formation zone and the of perforation channels parameters on the productivity of gas wells. *Prospecting and Development of Oil and Gas Fields*, 3 (76), 23–32. doi: [https://doi.org/10.31471/1993-9973-2020-3\(76\)-23-32](https://doi.org/10.31471/1993-9973-2020-3(76)-23-32)
7. Kalantariasl, A., Farhadi, I., Farzani, S., Keshavarz, A. (2022). A new comprehensive dimensionless inflow performance relationship for gas wells. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 12 (8), 2257–2269. doi: <https://doi.org/10.1007/s13202-022-01457-6>
8. Elsanose, A., Abobaker, E., Khan, F., Rahman, M. A., Aborig, A., Butt, S. D. (2022). Characterization of a Non-Darcy Flow and Development of New Correlation of NON-Darcy Coefficient. *Energies*, 15 (20), 7616. doi: <https://doi.org/10.3390/en15207616>

9. Zhang, S., Liu, H., Wang, Y., Sun, K., Guo, Y. (2021). A Novel Mathematical Model Considering Real Gas PVT Behavior to Estimate Inflow Performance Relationship of Gas Well Production. *Energies*, 14 (12), 3594. doi: <https://doi.org/10.3390/en14123594>
10. Elsanoose, A., Abobaker, E., Khan, F., Rahman, M. A., Aborig, A., Butt, S. D. (2022). Estimating of Non-Darcy Flow Coefficient in Artificial Porous Media. *Energies*, 15 (3), 1197. doi: <https://doi.org/10.3390/en15031197>
11. Prytula, N., Prytula, M., Boyko, R. (2017). Mathematical modeling of operating modes of underground gas storage facilities. *Technology Audit and Production Reserves*, 4 (1 (36)), 35–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.109084>
12. Iwaszczuk, N., Prytula, M., Prytula, N., Pyanylo, Y., Iwaszczuk, A. (2022). Modeling of Gas Flows in Underground Gas Storage Facilities. *Energies*, 15 (19), 7216. doi: <https://doi.org/10.3390/en15197216>
13. Prytula, M., Prytula, N., Pyanylo, Y., Prytula, Z., Khymko, O. (2022). Planning optimal operating modes of underground gas storage facilities as part of the gas transmission system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (117)), 76–91. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.258953>
14. Prytula, N., Prytula, M., Boyko, R. (2017). Development of software for analysis and optimization of operating modes of underground gas stores. *Technology Audit and Production Reserves*, 2 (3 (40)), 17–25. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.128574>
15. Khymko, O., Prytula, M., Prytula, N., Prytula, Z. (2022). Methods of Optimal Development and Modernization of Existing Distribution Networks for Gas-Hydrogen Mixtures. *Proceedings of EcoComfort 2022*, 150–161. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-14141-6_15
16. Bejan, A. (2013). *Convection Heat Transfer*. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118671627>
17. Barree, R. D., Conway, M. W. (2004). *Beyond Beta Factors: A Complete Model for Darcy, Forchheimer, and Trans-Forchheimer Flow in Porous Media*. All Days. doi: <https://doi.org/10.2118/89325-ms>
18. Aziz, K. (1979). *Petroleum reservoir simulation*. Applied Science Publishers, 476.
19. Agwu, O. E., Okoro, E. E., Sanni, S. E. (2022). Modelling oil and gas flow rate through chokes: A critical review of extant models. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 208, 109775. doi: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109775>
20. Er-hu, L., Yang-yang, L., Li-jun, G., De-sheng, Z., Xiong, L., Jin-ze, X. (2021). On the One-Point Model for the Productivity Evaluation in Jingbian Sector of Yan'an Gas Field. *Frontiers in Earth Science*, 9. doi: <https://doi.org/10.3389/feart.2021.793293>
21. Luke, Y. L. (Ed.) (1969). *The Special Functions and Their Approximations*. Academic Press.
22. Watson, G. N. (1922). *A treatise on the theory of Bessel functions*. Vol. 2. The University Press.

АНОТАЦІЇ
ENGINEERING TECHNOLOGICAL SYSTEMS

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291113

ТЕХНОЛОГІЯ ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО АГРЕГАТУ ГОМОГЕНІЗАТОРА ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ КАРБАМІДО АМІАЧНИХ СУМІШЕЙ (с. 6–12)

А. С. Ворожка, О. В. Тягно, М. С. Овчаренко, М. В. Лобуренко, А. А. Папченко

Розглянутий технологічний процес приготування карбамідо-аміачної суміші за допомогою багатофункціонального агрегату гомогенізатора. Об'єктом дослідження є робочий процес в проточній частині багатофункціонального агрегату гомогенізатора. Карбамідо-аміачна суміш використовується для підживлення рослин азотом, який є одним з основних макроелементів, необхідних для їхнього росту і розвитку. Азот сприяє утворенню білків, ферментів та інших важливих органічних сполук, що є необхідними для здорового зростання рослин і формування врожаю. Виготовлення карбамідо-аміачної суміші включає кілька етапів, таких як механічні, гідромеханічні, теплові, масообмінні і хімічні процеси. Для оптимізації цих процесів розроблений багатофункціональний агрегат гомогенізатор роторно-динамічного принципу дії, який здатний одночасно виконувати всі етапи приготування карбамідо-аміачної суміші. Було створено дослідний стенд для дослідження процесу приготування карбамідо-аміачної суміші та проведено аналіз зразка на вміст поживних речовин. Спроектований агрегат здатен за 10 хвилин приготувати близько 30 літрів готової суміші марки КАС-32. Енергетичні показники отримані в результаті проведених параметричних випробувань складають: напір $H=22,1$ м, потужність $N=27$ кВт при продуктивності $Q=5$ м³/год. Застосування такої технології дає змогу впроваджувати в умовах дрібносерійного виробництва принципи точного землеробства, підвищуючи таким чином ефективність оброблювання земель. Також існує можливість використання обладнання даного типу для інших потреб, наприклад для приготування рідких комплексних добрив та стимуляторів росту на основі гуматів. Подальший розвиток на базі даного агрегату включає створення автоматичної лінії подачі компонентів та створення комплексу замкнутого циклу виробництва.

Ключові слова: багатофункціональний агрегат гомогенізатор, роторні апарати, карбамідо-аміачна суміш, точне землеробство.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291114

ДОВЕДЕННЯ МОЖЛИВОСТІ РАЦІОНАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ НАСІННЄВИХ МАТЕРІАЛІВ ВІБРОПНЕВМОВІДЦЕНТРОВИМ СЕПАРАТОРОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРЕТИЧНОЇ МОДЕЛІ (с. 13–21)

В. В. Бредихін, О. В. Богомолов, Л. В. Кісь-Коркіщенко, А. О. Пак, А. В. Пак

Об'єктом досліджень є насіннєвий матеріал та робочі органи вібропневмовідцентрового сепаратора, предметом – їх взаємодія. Встановлені поверхні, які є результатами моделювання процесу сепарування насіннєвих матеріалів у вібропневмовідцентровому сепараторі, мають вигин до площини, параметрами якої є швидкість повітряного потоку та частота коливань робочої поверхні. Відзначено, що такий характер залежності чистоти «важкої» фракції насіння від параметрів процесу сепарування надає можливість визначати раціональні діапазони цих параметрів, за яких досягається максимальне значення цієї характеристики. Експериментальним моделюванням у виробничих умовах процесу сепарування у вібропневмовідцентровому сепараторі насіннєвих матеріалів пшениці, соняшника та сої встановлено високу збіжність результатів з результатами моделювання процесу за тих же вихідних умов. Встановлено, що коефіцієнти кореляції між точками, отриманими експериментально та отриманими моделюванням, для наведених результатів знаходяться в межах від 0.89 до 0.95. При цьому відмінності полягають у значеннях чистоти «важкої» фракції насіння, а не у характері її зміни за зміни параметрів процесу сепарування. Відзначена доцільність застосування моделювання під час визначення раціональних значень параметрів процесу розділення у вібропневмовідцентровому сепараторі. Це сприятиме підвищенню енерго- та ресурсоефективності обладнання через відсутність необхідності експериментального налаштування. Визначені раціональні діапазони швидкості повітряного потоку та частоти коливань ротора вібропневмовідцентрового сепаратора для сепарування насіннєвих матеріалів: пшениці – 1.2...1.5 м/с; 4500...5100 кол./хв; соняшника – 1.3...1.5 м/с; 4500...5000 кол./хв; сої – 1.3...1.6 м/с; 5000...5500 кол./хв.

Ключові слова: вібропневмовідцентровий сепаратор, густина насіннєвого матеріалу, багатофазне середовище, псевдорідина, параметри сепарування.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291680

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРУ РУХУ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ У ШНЕКОВИХ ТА ТРУБЧАСТО-ГРЕБЕНЕВИХ ЖИВИЛЬНИКАХ (с. 22–28)

В. В. Ничеглод, О. П. Бурмістенков, В. В. Стаценко, Т. Я. Біла, Д. В. Стаценко

Об'єктом дослідження є взаємозв'язок між конструктивними і технологічними параметрами живильників сипких матеріалів та характеристиками потоків частинок на їх виході, а саме: продуктивністю та величиною пульсацій. Проаналізовано існуючі конструкції обладнання цього типу, визначено найбільш поширені методи моделювання їх роботи. Авторами запропонована конструкція трубчасто-гребеневого живильника, робота якої порівнюється з відомим шнековим живильником. На основі методу дискретних елементів розроблено комп'ютерні моделі обох конструкцій. Моделювання проведено в програмному середовищі EDEM 2017. Встановлено, що отримані моделі враховують дискретну природу руху сипких матеріалів, дозволяють проводити дослідження з урахуванням фізико-механічних властивостей окремих частинок.

Створено дослідний стенд для експериментальної перевірки режимів роботи трубчасто-гребеневого живильника. Визначено продуктивності живильника цього типу для двох швидкостей обертання труби (6 і 10 рад/с). Також визначено величину пульсацій потоку матеріалу у вихідному патрубку. Підтверджено відповідність результатів розрахунків за комп'ютерною моделлю реальному процесу. Зазначені дослідження проводились для усталених режимів роботи.

Встановлено, що за рівних габаритних розмірів та швидкостей обертання робочих органів, продуктивність шнекового живильника у 5...5,2 разів більша ніж у трубчато-гребеневого. Але останній забезпечує у 7,3...16,4 разів меншу величину пульсації потоку сипкого матеріалу. Це дозволяє знизити неоднорідність сумішей, особливо у випадку використання таких живильників у складі змішувальних комплексів безперервної дії.

Отримані результати дозволяють аналізувати роботу живильників сипких матеріалів та зменшити час їх проєктування.

Ключові слова: сипкий матеріал, трубчато-гребеневий живильник, метод дискретних елементів, МДЕ, пульсації сипкого матеріалу.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291877

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ШТУЧНОГО ДЕФЕКТУ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛУ ГНУЧКОГО ТРУБОПРОВОДУ ПРИ ВИПРОБУВАННІ НА РОЗРИВ (с. 29–37)

С. Ю. Назаренко, Р. І. Коваленко, А. Я. Калиновський, В. Ю. Назаренко, А. Ю. Побідаш, Є. О. Кравченко, О. В. Шоман, В. Я. Даниленко, О. С. Сидоренко

Об'єктом дослідження є явище впливу прихованих дефектів на механічні властивості матеріалу гнучких трубопроводів. У якості дослідних зразків гнучких трубопроводів були використані напірні пожежні рукава типу «Т» з внутрішнім діаметром 77 мм. Під час експлуатації напірних пожежних та прокладанні їх по вертикальним поверхням вони піддаються значним тискам на розрив у своєму поздовжньому напрямку. Тобто такі режими роботи рукава можуть виникати під час його експлуатації. З аналізу встановлено, що не дослідженою досі залишалася залежність жорсткості та нормальної пружності матеріалу з якого виготовлений рукав від глибини та довжини дефекту при випробуванні його на розрив у поздовжньому напрямку. Досліджування були проведені на розривній машині FP 100/1 в якій фіксувалися випробувальні зразки.

Встановлено залежності показників жорсткості та нормальної пружності матеріалу гнучкого трубопроводу від глибини та довжини штучного дефекту при випробуванні його на розрив. При глибині штучного дефекту 0,2 мм та його довжини від 0 до 40 мм жорсткість матеріалу гнучкого трубопроводу зменшується від 573,812 кН/м до 478,276 кН/м. За вказаних значень дефекту нормальна пружність складала від 86,46 МПа до 64,567 МПа. При збільшенні глибини дефекту на 0,4 мм жорсткість матеріалу рукава зменшується до 432,902 кН/м, а нормальна пружність до 58,442 МПа.

Отримані результати пояснюються тим, що при зменшенні товщини ниток основи силового каркасу на 33 % зменшується поздовжня жорсткість та нормальна пружність матеріалу гнучкого трубопроводу на 25 % та 26 % відповідно.

Результати цих досліджень потрібні практиці, тому що можуть дозволити розробити нові або удосконалити існуючі методи виявлення прихованих дефектів в матеріалі з якого виготовлені гнучкі трубопроводи.

Ключові слова: напірний пожежний рукав, гнучкий трубопровід, нормальна пружність, поздовжня жорсткість матеріалу, штучний дефект.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292208

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ТЕРМОГІДРАВЛІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПРИБОРУ НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ (с. 38–51)

Zhaina Sakhanova, Zhenisgul Rakhmetullina, Roza Mukasheva, Raushan Mukhamedova, Indira Uvaliyeva, Galina Vityuk

Стаття присвячена дослідженню системи живлення азотом для охолодження експериментального пристрою, призначеного для випробувань в імпульсному реакторі з графітовим сповільнювачем. Для аналізу аварійних ситуацій, спричинених порушенням системи подачі азоту в шляхах охолодження кришки паливного з'єднання та силового корпусу дослідного пристрою, розроблено математичну модель для опису термодинамічних процесів у системі сполучених резервуарів, що імітує окремі ділянки кришки паливного з'єднання. експериментальний пристрій гідродинамічної системи охолодження в імпульсному графітовому реакторі та реалізовано в математичному інтерактивному пакеті для інженерних розрахунків у MATLAB/Simulink. Для дослідження нормальної роботи системи та аналізу можливих аварійних ситуацій система охолодження дослідного пристрою була представлена у вигляді груп з'єднаних між собою секцій гідродинамічної системи-баків із заданими об'ємами та гідравлічними опорами трубопроводів, що з'єднують ці баки. Проведено верифікацію моделі, розрахунки нормального режиму роботи системи охолодження експериментального пристрою, розрахунки аварійних ситуацій, викликаних порушенням нормальної роботи системи подачі азоту в трактах охолодження кришки паливного з'єднання. Встановлено, що пристрій зберігає цілісність навіть в аварійних ситуаціях, не піддаючись руйнуванню силових елементів конструкції при тиску до 8 МПа.

Ключові слова: імпульсний реактор з графітовим сповільнювачем, аналіз надзвичайних ситуацій, неоднорідні процеси, математичне моделювання, перевірка моделі.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292432

ПРОЄКТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ НАЗЕМНОГО РОБОТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ СТРІЛЕЦЬКИМ ОЗБРОЄННЯМ (с. 52–60)

І. М. Дегтярьов, П. В. Леонтьєв, Д. В. Мірошніченко, В. Г. Ланчинський, П. І. Бугаєв

Під час ведення бойових дій наземні роботизовані комплекси відіграють важливу роль у мінімізації втрат військовослужбовців і підвищенні бойових можливостей військ. Для ведення вогню роботизовані комплекси оснащують гарматними турелями. Дослідники проводять дослідження для покращення продуктивності, надійності і точності стрільби таких турелей. В роботі описується проєктування та дослідження експериментального зразка наземного роботизованого комплексу, який оснащено туреллю для керування положенням кулемету. Представлений опис та результати експериментальних досліджень динамічних навантажень при пересуванні робота з різними швидкостями і дорожніми умовами. Встановлено що значення максимальних прискорень які необхідно відпрацювати системі стабілізації при роботі для дослідної конструкції робота не перевищують 20 рад/с². Розглянуто можливість

застосування противаг для зменшення моменту приводу наведення турелі при зменшенні габаритів конструкції роботизованого комплексу. Представлені опис експериментального модуля оснащеного контрольно-вимірною системою та результати експериментальних досліджень визначення потужності приводів турелі під час маніпулювання конструкцією. Представлена методика динамічного аналізу і результати моделювання руху гарматної турелі у програмному комплексі ANSYS. Запропонований метод проектування конструкції забезпечує визначення впливу на конструкцію турелі складної форми навантажень викликаних її маніпуляціями, для компенсації збуджувальних навантажень при переміщенні роботизованого комплексу по місцевості. За допомогою даного методу можливо на етапі проектування визначити та мінімізувати потужності, а отже і енергопотребу азимутального і підйомного електроприводів.

Ключові слова: гарматна турель, наземний робот, бойовий модуль, динамічний аналіз, робототехніка, датчик моменту.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.290583

РОЗРОБКА МЕТОДУ ПРОЄКТУВАННЯ НАДЗВУКОВИХ СОПЛ РАКЕТНИХ ДВИГУНІВ МЕТОДАМИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО АНАЛІЗУ (с. 61–67)

І. Д. Дубровський, В. Л. Бучарський

Об'єкт дослідження – надзвукові сопла ракетних двигунів на рідкому паливі. Розглядається проблема відсутності ефективного методу профілювання надзвукового контуру сопла, що буде генерувати максимальну тягу. Для її розв'язку запропонований метод, суть якого полягає в апроксимації контуру сопла степеневим поліномом та визначенні значень його коефіцієнтів шляхом розв'язання багатовимірної задачі мінімізації з використанням методів численного моделювання. У якості цільової функції у роботі було обрано вираз для осьової складової тяги зі зворотним знаком при заданих значеннях атмосферного тиску і радіусу на зрізі сопла.

За допомогою запропонованого методу на основі поліномів 2, 3 та 4 степенів були отримані контури оптимальних сопл, які були співставлені з соплами, отриманими за загальноприйнятим методом Рао. Обчислене в ході порівняння максимальне значення модуля відносного відхилення не перевищило 3 %, що дозволяє стверджувати про коректність отриманих результатів. Наявність такої розбіжності пояснюється відмінністю у методі чисельного моделювання, що використовувався. На відміну від розповсюдженого у подібних задачах методу характеристик у роботі застосовувався метод скінченних об'ємів типу Годунова. Це дозволило знизити чутливість розрахунку до початкових та граничних умов та здійснювати рішення незалежно від режиму течії продуктів згоряння. Крім того, використання методу розширених об'ємів для інтегрування скінченних об'ємів на границі розрахункової області суттєво зменшило загальний час розв'язання задачі профілювання контуру оптимального сопла.

Результати дослідження можуть бути впроваджені в процес проектування камер рідинних ракетних двигунів з метою прискорення та спрощення процесу отримання більш ефективних варіантів конструкції.

Ключові слова: оптимізація контуру надзвукових сопл, рідинні ракетні двигуни, метод розширених об'ємів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292690

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДЕН-БАЛКЕРІВ НА ПОЧАТКОВИХ СТАДІЯХ ПРОЄКТУВАННЯ (С. 68–77)

О. В. Демідюк, М. Б. Косої, А. Ю. Засць

Розглянуто проблему визначення основних характеристик суден-балкерів.

Виконаний аналіз існуючих досліджень з визначення основних характеристик суден. Показана складність завдання вибору прототипу в процесі визначення основних характеристик балкерів на початкових стадіях проектування.

Зроблено припущення, згідно з яким передбачається, що кожне з суден вибірки (бази даних по суднах) спроектовано таким чином, що деякі експлуатаційні якості та/або економічні характеристики судна є оптимальними у певному сенсі.

Для вирішення задачі використаний стохастичний факторний аналіз, та застосований метод головних компонент, який дозволяє виявити чисельні характеристики, що впливають на параметри всієї системи, але, вочевидь, не спостерігаються. Сформовані фактори – безрозмірні комплекси характеристик суден вибірки, які по суті, є новими фазовими ортогональними координатами задачі з нерівнозначними дисперсіями вибірки вздовж координатних напрямків. Оцінювання значущості кореляцій факторів і векторів даних вибірки дає змогу відкинути фактори, які слабо впливають на значення параметрів суден вибірки. Тим самим модель задачі спрощується зі збереженням істотних зв'язків. Аналіз даних розрахунків показав, що кількість значущих факторів за рахунок використання методу головних компонент зменшилася з 7 до 3. Визначено, що судна одних розробників дійсно групуються за значенням комплексів чинників. У відсутності оригінального алгоритму визначення основних характеристик судна на початковому етапі проектування застосування описаної методики факторного аналізу має допомогти з визначенням основних факторів які впливають на якість проектування. Далі можливе застосування більш тонких механізмів оптимізації проекту за вибраними економічними та технічними параметрами. Наведені дані чисельного розрахунку комплексних характеристик судна.

Ключові слова: початкова стадія проектування, основні характеристики балкерів, факторний аналіз, метод головних компонент.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291554

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ АПРОКСИМАЦІЇ СФЕРИ СМУГАМИ РОЗГОРТНИХ ПОВЕРХОНЬ (с. 78–84)

А. В. Несвідомін, Алі Кадхім Ахмед, С. Ф. Пилипака, Т. М. Воліна, В. М. Несвідомін, В. М. Верещага, С. Л. Андрух, О. М. Павленко, Ю. І. Семірненко, К. Ю. Лисенко

Апроксимація нерозгортних поверхонь відсіками розгортних дозволяє спростити процес отримання необхідної форми без втрати експлуатаційних властивостей. Всім відома апроксимація сфери на прикладі м'яча, коли його поверхня може складатися із багатокутників. Проте цим переліком не вичерпуються можливі варіанти апроксимації сфери. Відомою є її апроксимація зрізаними конусами, дотичними до паралелей, або конгруентними циліндричними пелюстками, дотичними до меридіанів.

Будь-яка лінія на поверхні сфери є лінією кривини. Це означає, що спільна лінія дотику розгортної поверхні до сфери буде лінією кривини і для розгортної поверхні (прямолінійні твірні розгортної поверхні перетинатимуть цю лінію під прямим кутом). При побудові розгортки такої поверхні лінія дотику буде трансформована, але прямолінійні твірні залишаться перпендикулярними до неї, що спрощує побудову розгортки.

Розглянуто апроксимацію сфери конгруентними смугами, число яких може бути різне, починаючи з однієї. Необхідною умовою такої апроксимації є спільна лінія дотику суміжних смуг. Для цього лінія дотику на сфері або напрямна крива повинна мати відповідну форму. За таку криву взято лінію укусу (криву, дотичні до якої утворюють сталий кут нахилу до горизонтальної площини). Отриманими результатами є параметричні рівняння смуги, яка дотикається до сфери, і відповідні їй рівняння на розгортці. Побудова смуги на розгортці пояснюється незмінністю геодезичної кривини прямої кривої при згинанні смуги до суміщення її з площиною. Цим пояснюється відмінність запропонованого підходу від традиційних способів апроксимації сфери.

Апроксимація сфери смугами розгортних поверхонь має практичне застосування в архітектурі зі сферичними елементами, а також у культових спорудах із банями у вигляді частини сфери.

Ключові слова: розгортка сфери, лінія дотику, напрямна крива, геодезична кривина, параметричні рівняння.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292431

ФОРМУВАННЯ СПРЯЖЕНИХ КРИВОЛІНІЙНИХ ПОВЕРХОНЬ, ЩО ВИКЛЮЧАЮТЬ ІНТЕРФЕРЕНЦІЮ (с. 85–90)

Н. П. Ісмаїлова, Т. М. Могилянець

Об'єктом дослідження є спосіб геометричного проектування спряжених криволінійних поверхонь. Предметом дослідження є можливість досягнення відсутності інтерференції проєктованих поверхонь кінематичних пар технічних конструкцій, наприклад виробів в машинобудуванні (різальний інструмент, зубчасте зачеплення), на основі інваріантного способу. Проблема має суттєве значення для широкого класу виробів, але особливо для зубчастих зачеплень із погляду точності виготовлення поверхні зубів, несучої здатності, а отже, надійності та довговічності роботи передачі. Під час розрахунку на міцність кожен зуб зубчастого колеса можна розглядати як консольну балку, навантажену на вільному кінці силою взаємодії з другим колесом передачі. За наявності інтерференції (для зубчастих коліс підрізання) порушується не тільки форма поверхні зуба, а й істотно зменшується площа поперечного перерізу основи зуба. Тому розв'язання подібного завдання є важливим під час проектування та виготовлення зубчастих коліс. Саме тому під час формування вихідної криволінійної інструментальної поверхні різального інструменту враховується умова спряженості між точками виробу та інструменту.

У результаті під час проектування різального інструменту пропонується інваріантним способом за єдиною методологією може формуватися широкий клас складних криволінійних поверхонь. Зокрема, це стосується технологічних операцій на верстатах із числовим програмним керуванням. Сформовані спряжені криволінійні перетворення ріжучого інструменту за допомогою інваріантного способу дають змогу уникнути інтерференції спряжених поверхонь на стадії проектування. При цьому проаналізовано криволінійні характеристики поверхонь, які визначають сімейство нормалей як спільне до двох спряжених поверхонь із лінійним контактом, що є суттєвим для процесу проектування.

Ключові слова: інваріантний спосіб, різальний інструмент, спряжені поверхні, інтерференція зубів, лінійний контакт.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291881

ПЕРЕВІРКА НОВОГО СПОСОБУ ОТРИМАННЯ АРТЕЛЕРІЙСЬКИХ ГІЛЗ З ТРУБНОЇ ЗАГОТОВКИ ОБКАТУВАННЯМ ІНСТРУМЕНТОМ ТЕРТЯ (с. 91–97)

О. Є. Марков, С. О. Шевцов, Н. С. Грудкіна, В. В. Молодецький, А. В. Мусорин, В. М. Зінський

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення деталей типу артилерійських гільз методами обробки тиском. Робота спрямована на розв'язання актуальної науково-технічної проблеми вдосконалення технологічних процесів виготовлення деталей типу гільз на основі використання операції тангенціального обкатування інструментом тертя, що забезпечує отримання порожнистих виробів із дном. Методом скінченних елементів проведено моделювання процесів обкатки днищ, що дало змогу встановити ефективну геометрію оброблених заготовок і температуру їх нагрівання. Встановлено рекомендації щодо проектування нових технологічних процесів обкатки днищ, які полягають у визначенні товщини стінки заготовки перед деформацією, температури нагріву заготовок, а також величини подачі заготовки в інструмент тертя. Отримані рекомендації перевірені експериментальними дослідженнями. Обкатку сферичних днищ слід проводити для труб із відносною товщиною стінки (D/s) у діапазоні 15...20, гомологічна температура нагріву повинна становити 0,8, а відносна подача заготовки до інструменту тертя повинна бути 0,9. Апробація встановлених співвідношень у лабораторних умовах підтвердила отримані рекомендації щодо формозміни сферичних днищ у процесі обкатки. Результати металографічних досліджень на натурних виробках підтверджують результати теоретичного дослідження. Рекомендується використовувати цей спосіб для виробів, що мають осьовий отвір (артилерійські гільзи, гідроциліндри та ін), що дозволить видалити осьові дефекти в днищі після висвердлювання осьового отвору. Отримані результати можна використовувати на машинобудівних підприємствах під час виготовлення деталей подвійного призначення.

Ключові слова: деформація заготовки, гільза, порожниста заготовка, обкатка труб, внутрішні дефекти, МСЕ.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292435

ВИЯВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВПЛИВУ ЗМІННОЇ ПРОНИКНОСТІ ПРИВИБІЙНИХ ЗОН СВЕРДЛОВИН НА РЕЖИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ СХОВИЩ ГАЗУ (с. 98–112)

М. Г. Притула, Н. М. Притула, Я. Д. П'янило, З. В. Притула, О. М. Химко

Об'єктом дослідження є підземні сховища газу (ПСГ). Основна вирішувана проблема – забезпечити ефективне управління процесом експлуатації підземних сховищ газу (ПСГ) на оперативних та прогнозних інтервалах часу. Одним з основних чинників,

які впливають на режими роботи ПСГ, є суттєво нестационарні фільтраційні процеси, які відбуваються у вибійних зонах свердловин. Складність оцінювання багатofакторного впливу на депресію/репресію в околі свердловин впливає як на швидкість, так і на точність розрахунку режимних параметрів роботи ПСГ. Аналіз результатів проведених досліджень свердловин показав значну область невизначеності розрахунку коефіцієнтів фільтраційного опору їхніх привибійних зон. Отримання задовільної точності результату за очікуваний час проведено способом побудови моделі інтегрального врахування впливу параметрів усіх вибійних зон свердловин на режим експлуатації ПСГ. Виявилося, що інтегральне врахування впливу на параметри вибійних зон свердловин нівелювало вплив значних змін коефіцієнтів фільтраційного опору свердловин та забезпечило достатню швидкість розрахунку режимів ПСГ. Одночасне моделювання десяти діючих ПСГ в піковому режимі відбирання усього наявного об'єму активного газу займає не більше шести хвилин. Швидкість моделювання фільтраційних процесів у вибійних зонах свердловин забезпечило знаходження кращих із них за тим чи іншим критерієм якості режиму.

У результаті проведених досліджень побудована і програмно реалізована модель, яка пройшла апробацію у реальних умовах експлуатації та забезпечує оптимальне планування режимів роботи ПСГ на задані інтервали часу. Його використання є ефективним інструментом для оперативного розрахунку поточних режимів та технічної потужності ПСГ за заданого розподілу тисків у системі магістральних газопроводів. Працездатність розробленого математичного забезпечення підтверджена результатами проведених числових експериментів.

Ключові слова: підземне сховище газу, фільтраційний опір, закон Дарсі, скін-фактор, коефіцієнт Форхгеймера.