

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.301421**  
**ASSESSMENT OF THE BEARING CAPACITY**  
**OF VARIABLE PROFILE PILES IN SOIL USING**  
**STATIC LOAD MODEL TESTS ON A TESTING**  
**APPARATUS (p. 6–13)**

**Rauan Lukpanov**

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

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0085-9934>

**Serik Yenkebaev**

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

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5984-9346>

**Zhibek Zhantlessova**

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

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2010-3715>

**Duman Dyusseminov**

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

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6118-5238>

**Aliya Altynbekova**

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

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1010-9328>

**Ruslan Rakhimov**

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

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6763-3510>

The paper presents the results of the study of the proposed type of variable profile piles. The proposed type of piles is reinforced concrete driven piles segmented in length. Each subsequent section has a radial displacement along the axis of symmetry relative to the previous section. The positive effect of the performance of the proposed pile is to change the nature of the lateral contact of the pile with the soil, and to increase the drag of the soil. The conducted research is aimed at solving the problem related to the relatively low bearing capacity of traditional square section piles. The research was carried out by the method of model tests of piles on a test bench (tray) at a scale of 1:10. The tests were performed for variant pile types in comparison with a standard square section prismatic pile. The adopted dimensions of the pile model allow the use of this tray without the influence of its boundary conditions on the stress-strain state of the soil. A total of 42 tests were performed, 3 tests for each type of piles compared. Evaluation of pile bearing capacity was performed by static loading of pile models with vertical indentation load until failure. According to the results of the investigations, the resistance values of the compared pile types in the soil were obtained, as well as the dependence of bearing capacity changes on the section dimensions and on the rotation angle. According to the results, the optimal pile solution was selected. The bearing capacity of the proposed optimal pile solution exceeds the bearing capacity of the standard driven pile by 22 %. The results obtained allow us to conclude about the influence of the technological solution of the proposed pile type on its serviceability in soil conditions.

**Keywords:** model tests, variable profile piles, driving piles, static load test, bearing capacity.

**References**

1. Kawai, M., Ichikawa, K., Kono, K. (2017). Development of New Type of Screwed Pile with Large Bearing Capacity and Ecological Driving Method «Tsubasa PileTM». Proceedings of the 4th Congrès International de Géotechnique-Ouvrages-Structures, 411–425. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-6713-6\\_41](https://doi.org/10.1007/978-981-10-6713-6_41)
2. Altynbekova, A. (2022). Complex laboratory studies of modified additive influence on concrete physical and mechanical properties. International Journal of GEOMATE, 23 (100). <https://doi.org/10.21660/2022.100.3641>
3. Kozar', N. A., Borisov, S. M. (1975). Experience with use of pile foundations in rural construction in Kazakhstan. Soil Mechanics and Foundation Engineering, 12 (3), 150–153. <https://doi.org/10.1007/bf01707636>
4. Bourne-Webb, P. J., Amatya, B., Soga, K., Amis, T., Davidson, C., Payne, P. (2009). Energy pile test at Lambeth College, London: geotechnical and thermodynamic aspects of pile response to heat cycles. Géotechnique, 59 (3), 237–248. <https://doi.org/10.1680/geot.2009.59.3.237>
5. Dong, X., Tan, X., Lin, X., Guo, W., Zha, F., Xu, L. (2023). Reliability Analysis and Design of Vertically Loaded Piles in Spatially Variable Soils. International Journal of Geomechanics, 23 (10). <https://doi.org/10.1061/jgnai.gmeng-8426>
6. Brucy, F., Meunier, J., Nauroy, J.-F. (1991). Behavior of Pile Plug in Sandy Soils During and After Driving. All Days. <https://doi.org/10.4043/6514-ms>
7. Comodromos, E. M., Randolph, M. F. (2023). Improved Relationships for the Pile Base Response in Sandy Soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 149 (8). <https://doi.org/10.1061/jggefkg.gte-11035>
8. Lee, J. H., Salgado, R. (1999). Determination of Pile Base Resistance in Sands. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 125 (8), 673–683. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0241\(1999\)125:8\(673\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0241(1999)125:8(673))
9. Salgado, R., Mitchell, J. K., Jamiolkowski, M. (1997). Cavity Expansion and Penetration Resistance in Sand. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 123 (4), 344–354. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0241\(1997\)123:4\(344\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0241(1997)123:4(344))
10. Burland, J. B. (2023). Behaviour of single piles under vertical loads. ICE Manual of Geotechnical Engineering, Second Edition, Volume I, 257–272. <https://doi.org/10.1680/icemge.66816.0257>
11. Jardine, R. J., Standing, J. R., Chow, F. C. (2006). Some observations of the effects of time on the capacity of piles driven in sand. Géotechnique, 56 (4), 227–244. <https://doi.org/10.1680/geot.2006.56.4.227>
12. Semyonova, N. A. (2024). Problems following the necessity of improving the bearing capacity of weak foundations. International Scientific Journal «VESNIK NAUKI», 3 (1 (70)).
13. Utkin, V. S. (2018). Experiments and design of reinforced concrete friction piles by bearing capacity of the pile and soil base. Vestnik MGSU, 8, 952–958. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.8.952-958>
14. Malyshkin, A., Esipov, A. (2016). Numerical study load distribution between piles in groups. PNRPU Construction and Architecture Bulletin, 7 (4), 31–38. <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2016.4.03>
15. Russo, G. (2012). Experimental investigations and analysis on different pile load testing procedures. Acta Geotechnica, 8 (1), 17–31. <https://doi.org/10.1007/s11440-012-0177-4>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299970**  
**DETERMINING THE EFFECT OF VIBRATING WAVE SWABBING ON THE FUNCTIONAL PROCESSES IN CARBONATE LOW-PERMEABILITY RESERVOIRS (p. 14–20)**

**Victoriia Rubel**

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6053-9337>

**Vyacheslav Rubel**

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5418-5595>

**Tetiana Surzhko**

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8095-3984>

**Sergii Goshovskyi**

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8312-6244>

This paper investigates the method of vibrating wave swabbing, which is used to stimulate the flow of liquid to the well.

This method is known to generate mechanical waves in the soil that open microcracks and pores, increasing the flow of hydrocarbons. A carbonate reservoir with low permeability, which is quite common in the oil and gas industry, was considered as the study object. Therefore, the object of research was carbonate low-permeability reservoirs. After all, their low permeability makes the extraction of oil and gas from them a difficult task.

As a result of processing, it was established that increasing the amplitude of pressure fluctuations contributes to increasing the efficiency of the vibration wave action, as the permeability of the reservoir increases more intensively, which was confirmed by the coefficient of determination, which was  $R^2=0.92$ . And an increase in the frequency of oscillations, on the contrary, reduces it, because the depth of the effective zone of vibrational action decreases; in this case, the coefficient of determination was  $R^2=0.81$ .

To study the effect, a laboratory setup was designed that included a plunger device that generated fluid perturbations in a conditional borehole. The resulting elastic waves were measured by a manual contact vibrometer.

Vibrating wave swabbing is a promising method for intensifying hydrocarbon production.

The influence under investigation could be implemented in oil and gas fields with carbonate low-permeability reservoirs. This would lead to an increase in fluid production and improved efficiency of the oil and gas industry.

**Keywords:** vibrating wave swabbing, low-permeability reservoir, increased permeability, amplitude of pressure fluctuations, intensification.

## References

- Dai, L., Zhang, Y. (2019). Effects of low frequency external excitation on oil slug mobilization and flow in a water saturated capillary model. *Petroleum*, 5 (4), 375–381. <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2019.03.001>
- Wang, Q., Zhou, F., Su, H., Zhang, S., Dong, R., Yang, D. et al. (2024). Experimental evaluations of nano high-viscosity friction reducers to improve acid fracturing efficiency in low-permeability carbonate reservoirs. *Chemical Engineering Journal*, 483, 149358. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.149358>
- Zhiming, L., Xiaoqiang, L., Weihua, D., Yikai, Z., Lingxia, Z., Liwu, M. (2023). Fracture identification and its application of ultra-low permeability carbonate reservoir in Fauqi North oilfield, Iraq. *Arabian Journal of Geosciences*, 16 (11). <https://doi.org/10.1007/s12517-023-11738-x>
- Petruniak, M., Rubel, V., Chevhanova, V., Kulakova, S. (2021). Application of grout slurries with the defecate addition for effective well cementing. *Mining of Mineral Deposits*, 15 (1), 59–65. <https://doi.org/10.33271/mining15.01.059>
- Rubel, V., Rubel, V., Ziája, J., Yaremichuk, R. (2022). Development of a mathematical model of the operation of the swab generator valve. *Technology Audit and Production Reserves*, 5 (1 (67)), 6–10. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.265815>
- Zhao, Y., Li, X., Lei, L., Chen, L., Luo, Z. (2023). Permeability evolution mechanism and the optimum permeability determination of uranium leaching from low-permeability sandstone treated with low-frequency vibration. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 15 (10), 2597–2610. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2022.12.031>
- Yang, H., Lao, J., Tong, D., Song, H. (2022). Numerical Investigation on EOR in Porous Media by Cyclic Water Injection with Vibration Frequency. *Water*, 14 (23), 3961. <https://doi.org/10.3390/w14233961>
- Obringer, R., Nateghi, R. (2018). Predicting Urban Reservoir Levels Using Statistical Learning Techniques. *Scientific Reports*, 8 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23509-w>
- Mahdaviara, M., Sharifi, M., Ahmadi, M. (2022). Toward evaluation and screening of the enhanced oil recovery scenarios for low permeability reservoirs using statistical and machine learning techniques. *Fuel*, 325, 124795. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124795>
- Prishchenko, O., Cheremskaya, N., Chernogor, T. (2021). Construction of mathematical models using the methods of correlation and regression analysis. *Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: Innovation Researches in Students' Scientific Work*, 2, 29–36. <https://doi.org/10.20998/2220-4784.2021.02.05>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.301653**  
**BUILDING A MODEL OF THE ABRASION GRINDING MECHANISM IN A TUMBLING MILL BASED ON DATA VISUALIZATION (p. 21–33)**

**Yuriy Naumenko**

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3658-3087>

**Kateryna Deineka**

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7376-6734>

**Serhii Zabchuk**

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0009-0579-3955>

The object of this study is the grinding process in a tumbling mill when the mechanism of destruction by abrasion is implemented, which is caused by the mechanism of shear loading. The abrasive effect due to the impulse interaction during the mutual chaotic movement of granular particles in the shear layer of loading, characterized by the granular temperature, is taken into account.

The task solved was determining the parameters of the shear interaction, which is caused by the difficulties of modeling and complexity of the hardware analysis of behavior of the internal loading in the mill.

A mathematical model was built based on data visualization for the abrasion grinding mechanism.

The power of the shear interaction forces was taken as an analog of the grinding performance. The initial shear characteristic was considered to be the average value of the shear velocity gradient in the central averaged normal section of the shear layer. The impact on productivity of the granular temperature and mass fraction of the shear layer and loading turnover was taken into account.

The effect of rotation speed on performance was evaluated by experimental modeling at a chamber filling degree of 0.45 and a relative particle size of 0.0104. The maximum value of the energy and productivity of grinding by abrasion was established at the relative speed of rotation  $\psi_{\omega}=0.55-0.6$ .

The results have made it possible to establish a rational speed when grinding by abrasion,  $\psi_{\omega}=0.5-0.6$ . This value is smaller in comparison with grinding by crushing  $\psi_{\omega}=0.55-0.65$  and breaking  $\psi_{\omega}=0.75-0.9$ . The established effect is explained by the detected activation of the chaotic quasi-thermodynamic movement of particles of the shear layer at slow rotation.

The model built makes it possible to predict rational technological parameters of the energy-saving process of fine grinding in a tumbling mill by abrasion.

**Keywords:** tumbling mill, intra-chamber loading, grinding by abrasion, granular temperature, grinding performance.

## References

- Gupta, V. K. (2020). Energy absorption and specific breakage rate of particles under different operating conditions in dry ball milling. *Powder Technology*, 361, 827–835. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.11.033>
- Góralczyk, M., Krot, P., Zimroz, R., Ogonowski, S. (2020). Increasing Energy Efficiency and Productivity of the Comminution Process in Tumbling Mills by Indirect Measurements of Internal Dynamics – An Overview. *Energies*, 13 (24), 6735. <https://doi.org/10.3390/en13246735>
- Tavares, L. M. (2017). A Review of Advanced Ball Mill Modelling. *KONA Powder and Particle Journal*, 34, 106–124. <https://doi.org/10.14356/kona.2017015>
- Semsari Parapari, P., Parian, M., Rosenkranz, J. (2020). Breakage process of mineral processing comminution machines – An approach to liberation. *Advanced Powder Technology*, 31 (9), 3669–3685. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2020.08.005>
- Napier-Munn, T. J., Morrell, S., Morrison, R. D., Kojovic, T. (1996). Mineral comminution circuits: their operation and optimisation. JKMRM Monograph series in mining and mineral processing, 2.
- Ye, X., Gredelj, S., Skinner, W., Grano, S. R. (2010). Regrinding sulphide minerals – Breakage mechanisms in milling and their influence on surface properties and flotation behaviour. *Powder Technology*, 203 (2), 133–147. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2010.05.002>
- Hasan, M., Palaniandy, S., Hilden, M., Powell, M. (2017). Calculating breakage parameters of a batch vertical stirred mill. *Minerals Engineering*, 111, 229–237. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.06.024>
- Chen, X., Peng, Y., Bradshaw, D. (2014). The effect of particle breakage mechanisms during regrinding on the subsequent cleaner flotation. *Minerals Engineering*, 66-68, 157–164. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.04.020>
- Wills, B. A., Finch, J. (2015). *Wills' Mineral Processing Technology*. Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/c2010-0-65478-2>
- Naumenko, Y., Deineka, K. (2023). Building a model of the compression grinding mechanism in a tumbling mill based on data visualization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (125)), 64–72. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.287565>
- Naumenko, Y., Deineka, K. (2023). Building a model of the impact grinding mechanism in a tumbling mill based on data visualization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (123)), 65–73. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.283073>
- Morrison, A. J., Govender, I., Mainza, A. N., Parker, D. J. (2016). The shape and behaviour of a granular bed in a rotating drum using Eulerian flow fields obtained from PEPT. *Chemical Engineering Science*, 152, 186–198. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2016.06.022>
- de Klerk, D. N., Govender, I., Mainza, A. N. (2019). Geometric features of tumbling mill flows: A positron emission particle tracking investigation. *Chemical Engineering Science*, 206, 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2019.05.020>
- Jaeger, H. M., Nagel, S. R., Behringer, R. P. (1996). Granular solids, liquids, and gases. *Reviews of Modern Physics*, 68 (4), 1259–1273. <https://doi.org/10.1103/revmodphys.68.1259>
- Forterre, Y., Pouliquen, O. (2008). Flows of Dense Granular Media. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 40 (1), 1–24. <https://doi.org/10.1146/annurev.fluid.40.111406.102142>
- Forterre, Y., Pouliquen, O. (2011). Granular Flows. *Glasses and Grains*, 77–109. [https://doi.org/10.1007/978-3-0348-0084-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-0348-0084-6_4)
- Brown, R. L., Richards, J. C. (2016). *Principles of powder mechanics: essays on the packing and flow of powders and bulk solids*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/c2013-0-01576-9>
- Savage, S. B. (1984). The Mechanics of Rapid Granular Flows. *Advances in Applied Mechanics*, 289–366. [https://doi.org/10.1016/s0065-2156\(08\)70047-4](https://doi.org/10.1016/s0065-2156(08)70047-4)
- Campbell, C. (1990). Rapid Granular Flows. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 22 (1), 57–92. <https://doi.org/10.1146/annurev.fluid.22.1.57>
- Campbell, C. S. (2006). Granular material flows – An overview. *Powder Technology*, 162 (3), 208–229. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2005.12.008>
- Jiang, Y., Liu, M. (2009). Granular solid hydrodynamics. *Granular Matter*, 11 (3), 139–156. <https://doi.org/10.1007/s10035-009-0137-3>
- Ogawa, S. (1978). Multitemperature theory of granular materials. *Proc. of the US-Japan Seminar on Continuum Mechanical and Statistical Approaches in the Mechanics of Granular Materials*, 208–217.
- Ogawa, S., Umemura, A., Oshima, N. (1980). On the equations of fully fluidized granular materials. *Zeitschrift Für Angewandte Mathematik Und Physik ZAMP*, 31 (4), 483–493. <https://doi.org/10.1007/bf01590859>
- Sun, Q., Song, S., Jin, F., Jiang, Y. (2012). Entropy productions in granular materials. *Theoretical and Applied Mechanics Letters*, 2 (2), 021002. <https://doi.org/10.1063/2.1202102>
- Sun, Q., Song, S., Liu, J., Fei, M., Jin, F. (2013). Granular materials: Bridging damaged solids and turbulent fluids. *Theoretical and Applied Mechanics Letters*, 3 (2), 021008. <https://doi.org/10.1063/2.1302108>
- Sun, Q., Jin, F., Wang, G., Song, S., Zhang, G. (2015). On granular elasticity. *Scientific Reports*, 5 (1). <https://doi.org/10.1038/srep09652>
- Yang, H., Li, R., Kong, P., Sun, Q. C., Biggs, M. J., Zivkovic, V. (2015). Avalanche dynamics of granular materials under the slumping regime in a rotating drum as revealed by speckle visibility spectroscopy. *Physical Review E*, 91 (4). <https://doi.org/10.1103/physreve.91.042206>
- Li, R., Yang, H., Zheng, G., Zhang, B. F., Fei, M. L., Sun, Q. C. (2016). Double speckle-visibility spectroscopy for the dynamics of a passive layer in a rotating drum. *Powder Technology*, 295, 167–174. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.03.031>
- Yang, H., Zhang, B. F., Li, R., Zheng, G., Zivkovic, V. (2017). Particle dynamics in avalanche flow of irregular sand particles in the slumping

- regime of a rotating drum. *Powder Technology*, 311, 439–448. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.01.064>
30. Li, R., Yang, H., Zheng, G., Sun, Q. C. (2018). Granular avalanches in slumping regime in a 2D rotating drum. *Powder Technology*, 326, 322–326. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.12.032>
  31. Yang, H., Zhu, Y., Li, R., Sun, Q. (2020). Kinetic granular temperature and its measurement using speckle visibility spectroscopy. *Particuology*, 48, 160–169. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2018.07.011>
  32. Jing, Z., Yang, H., Wang, S., Chen, Q., Li, R. (2021). Comparison of granular temperature measured by SVS and DEM in the rotating cylinder. *Powder Technology*, 380, 282–287. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.11.073>
  33. Dolgunin, V. N., Ivanov, O. O., Akopyan, S. A. (2020). Quasithermal Effects During Rapid Gravity Flow of a Granular Medium. *Advanced Materials & Technologies*, 3 (19), 047–055. <https://doi.org/10.17277/amt.2020.03.pp.047-055>
  34. Li, S., Yao, Q., Chen, B., Zhang, X., Ding, Y. L. (2007). Molecular dynamics simulation and continuum modelling of granular surface flow in rotating drums. *Chinese Science Bulletin*, 52 (5), 692–700. <https://doi.org/10.1007/s11434-007-0069-4>
  35. Yin, H., Zhang, M., Liu, H. (2014). Numerical simulation of three-dimensional unsteady granular flows in rotary kiln. *Powder Technology*, 253, 138–145. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2013.10.044>
  36. Yang, S., Sun, Y., Zhang, L., Chew, J. W. (2017). Segregation dynamics of a binary-size mixture in a three-dimensional rotating drum. *Chemical Engineering Science*, 172, 652–666. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2017.07.019>
  37. Yang, S., Wang, H., Wei, Y., Hu, J., Chew, J. W. (2020). Flow dynamics of binary mixtures of non-spherical particles in the rolling-regime rotating drum. *Powder Technology*, 361, 930–942. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.10.110>
  38. Longo, S., Lamberti, A. (2002). Grain shear flow in a rotating drum. *Experiments in Fluids*, 32 (3), 313–325. <https://doi.org/10.1007/s003480100359>
  39. Chou, H.-T., Lee, C.-F. (2008). Cross-sectional and axial flow characteristics of dry granular material in rotating drums. *Granular Matter*, 11 (1), 13–32. <https://doi.org/10.1007/s10035-008-0118-y>
  40. Chou, S. H., Hsiau, S. S. (2011). Experimental analysis of the dynamic properties of wet granular matter in a rotating drum. *Powder Technology*, 214 (3), 491–499. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2011.09.010>
  41. Chou, S. H., Hu, H. J., Hsiau, S. S. (2016). Investigation of friction effect on granular dynamic behavior in a rotating drum. *Advanced Powder Technology*, 27 (5), 1912–1921. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2016.06.022>
  42. Liao, C.-C., Lan, H.-W., Hsiau, S.-S. (2016). Density-induced granular segregation in a slurry rotating drum. *International Journal of Multiphase Flow*, 84, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2016.04.015>
  43. Liao, C.-C. (2019). Effect of dynamic properties on density-driven granular segregation in a rotating drum. *Powder Technology*, 345, 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.12.093>
  44. Liao, C.-C., Ou, S.-F., Chen, S.-L., Chen, Y.-R. (2020). Influences of fine powder on dynamic properties and density segregation in a rotating drum. *Advanced Powder Technology*, 31 (4), 1702–1707. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2020.02.006>
  45. Chung, Y.-C., Liao, C.-C., Zhuang, Z.-H. (2021). Experimental investigations for the effect of fine powders on size-induced segregation in binary granular mixtures. *Powder Technology*, 387, 270–276. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.04.034>
  46. Govender, I., Richter, M. C., Mainza, A. N., De Klerk, D. N. (2016). A positron emission particle tracking investigation of the scaling law governing free surface flows in tumbling mills. *AIChE Journal*, 63 (3), 903–913. <https://doi.org/10.1002/aic.15453>
  47. Xiu, W., Li, R., Chen, Q., Sun, Q., Zivkovic, V., Yang, H. (2023). Prediction of segregation characterization based on granular velocity and concentration in rotating drum. *Particuology*, 73, 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2022.03.008>
  48. Naumenko, Y. (2017). Modeling a flow pattern of the granular fill in the cross section of a rotating chamber. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (89)), 59–69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110444>
  49. Naumenko, Y. (2017). Modeling of fracture surface of the quasi solid-body zone of motion of the granular fill in a rotating chamber. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (86)), 50–57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96447>
  50. Naumenko, Y., Sivko, V. (2017). The rotating chamber granular fill shear layer flow simulation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (7 (88)), 57–64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.107242>
  51. Deineka, K., Naumenko, Y. (2019). Revealing the effect of decreased energy intensity of grinding in a tumbling mill during self-excitation of auto-oscillations of the intrachamber fill. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (1 (97)), 6–15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155461>
  52. Deineka, K., Naumenko, Y. (2019). Establishing the effect of a decrease in power intensity of self-oscillating grinding in a tumbling mill with a reduction in an intrachamber fill. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (102)), 43–52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.183291>
  53. Deineka, K., Naumenko, Y. (2020). Establishing the effect of decreased power intensity of self-oscillatory grinding in a tumbling mill when the crushed material content in the intra-chamber fill is reduced. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (106)), 39–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209050>
  54. Deineka, K., Naumenko, Y. (2021). Establishing the effect of a simultaneous reduction in the filling load inside a chamber and in the content of the crushed material on the energy intensity of self-oscillatory grinding in a tumbling mill. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (1 (109)), 77–87. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224948>
  55. Deineka, K., Naumenko, Y. (2022). Revealing the mechanism of stability loss of a two-fraction granular flow in a rotating drum. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (118)), 34–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263097>
  56. Deineka, K. Yu., Naumenko, Yu. V. (2018). The tumbling mill rotation stability. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 1, 60–68. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/10>
  57. Gupta, V. K., Sharma, S. (2014). Analysis of ball mill grinding operation using mill power specific kinetic parameters. *Advanced Powder Technology*, 25 (2), 625–634. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2013.10.003>
  58. Hanumanthappa, H., Vardhan, H., Mandela, G. R., Kaza, M., Sah, R., Shanmugam, B. K. (2020). A comparative study on a newly designed ball mill and the conventional ball mill performance with respect to the particle size distribution and recirculating load at the discharge end. *Minerals Engineering*, 145, 106091. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.106091>
  59. ISO 924:1989. Coal preparation plant. Principles and conventions for flowsheets. Available at: <https://www.iso.org/standard/5340.html>
  60. DIN EN 1009-3. Maschinen für die mechanische Aufbereitung von Mineralien und ähnlichen festen Stoffen – Sicherheit – Teil 3: Spezifische Anforderungen für Brecher und Mühlen; Deutsche Fassung EN 1009-3:2020. Available at: <https://www.din.de/mitwirken/normenausschuesse/nam/veroeffentlichungen/wdc-beuth:din21:316006092>



DOI: 10.15587/1729-4061.2024.300174

## SUBSTANTIATING THE RATIONAL PARAMETERS AND OPERATION MODES FOR THE HEMP SEED CENTRIFUGAL DEHULLER (p. 34–48)

**Viktor Sheichenko**

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2751-6181>

**Dmytro Petrachenko**

Separate Structural Subdivision «Hlukhiv Agrotechnical Professional College of SNAU», Glukhiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1347-9562>

**Serhii Koropchenko**

Institute of Bast Crops of the National Academy of Agrarian Sciences, Hlukhiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4520-4763>

**Ivan Rogovskii**

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6957-1616>

**Oleksandr Gorbenko**

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2473-0801>

**Mykhailo Volianskyi**

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3597-9365>

**Denys Sheichenko**

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0427-479X>

The object of research is technological processes, seeds of industrial hemp, and working bodies of the dehuller.

A centrifugal-type device for crushing hemp seeds with a closed sector-type working body has been designed. Owing to this, the task related to seed dehulling was solved with a high level of efficiency in separating the seed coat from the kernel.

The rational parameters for the dehuller have been substantiated: the diameter of the impeller is 162 mm, the gap between the impeller and the seed repelling panel is 80 mm, the frequency of rotation of the impeller is 2000 min<sup>-1</sup>. It was established that with the specified parameters and moisture content of the seeds within the limits of conditional (12.0–13.0 %), it is advisable to carry out dehulling process without preliminary separation of the seeds into fractions by width.

It was established that an increase in seed size leads to a corresponding increase in the weight share of seed kernels. About 58.2 % of the main mass of seeds is the average fraction with a width of 2.5 to 3.0 mm.

It was found that reducing the diameter of the impeller (from 236 mm to 162 mm) at a seed moisture content of 8.8 % improved the efficiency of dehulling. At a rotation frequency of the impeller of 2000 min<sup>-1</sup>, the highest total number of intact and destroyed kernels (23.23–29.33 %) was achieved for the two studied moistures. With an increase in seed moisture content from 8.8 % to 12.0 %, the number of dehulled kernels in the hempseed cake increased.

It was noted that for seeds with a moisture content of 8.8 %, an increase in the gap led to a decrease in the dehulling efficiency for each of the three investigated seed fractions. The total number of dehulled kernels under such conditions decreased by 2.4–6.8 % and amounted to 16.4–26.9 %. For seeds with a moisture content of 12.0 %, an increase in the gap, on the contrary, increased the dehulling efficiency for each of the three investigated seed fractions. The

total number of dehulled kernels for seeds of marked moisture increased within the range of 1.4–3.6 % and amounted to 27.4–31.0 %.

**Keywords:** hemp, seed, seed kernel, separation, separation, cleaning, rotation frequency, centrifugal dehuller.

### References

1. Tkachenko, S., Mokher, Yu., Laiko, I., Zhuplatova, L., Vyrovets, V., Mishchenko, S. et al. (2021). Dovidnyk konopliara. Sumy: Ellada, 27.
2. Sheichenko, V., Shevchuk, V., Dudnikov, I., Koropchenko, S., Dnes, V., Skoriak, Y., Skibchik, V. (2022). Devising technologies for harvesting hemp with belt threshers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (1 (115)), 67–75. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251126>
3. Derzhavnyi reiestr sortiv roslyn, prydatnykh dlia poshyrennia v Ukraini. Available at: <https://minagro.gov.ua/file-storage/reiestr-sortiv-roslyn>
4. Vyrovets, V., Laiko, I., Myhal, M., Dudukova, S., Zhuplatova, L. et al. (2018). Konopliarstvo: naukovy zdobutky i perspektyvy. Sumy: FOP Shcherbyna, 158.
5. Schultz, C. J., Lim, W. L., Khor, S. F., Neumann, K. A., Schulz, J. M., Ansari, O. et al. (2020). Consumer and health-related traits of seed from selected commercial and breeding lines of industrial hemp, *Cannabis sativa* L. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2, 100025. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100025>
6. Montero, L., Ballesteros-Vivas, D., Gonzalez-Barrios, A. F., Sánchez-Camargo, A. del P. (2023). Hemp seeds: Nutritional value, associated bioactivities and the potential food applications in the Colombian context. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1039180>
7. Alonso-Esteban, J. I., Pinela, J., Čirić, A., Calhella, R. C., Soković, M., Ferreira, I. C. F. R. et al. (2022). Chemical composition and biological activities of whole and dehulled hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds. *Food Chemistry*, 374, 131754. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131754>
8. Presa-Lombardi, J., García, F., Gutierrez-Barrutia, M. B., Cozzano, S. (2023). Hemp seed's (*Cannabis Sativa* L) nutritional potential for the development of snack functional foods. *OCL*, 30, 24. <https://doi.org/10.1051/ocl/2023025>
9. Romanić, R. S., Lužaić, T. Z. (2022). Dehulling effectiveness of high-oleic and linoleic sunflower oilseeds using air-jet impact dehuller: a comparative study. *Food Science and Technology*, 42. <https://doi.org/10.1590/fst.58620>
10. Машина насіннєвійна НВХ. Available at: <https://simo.com.ua/en/oborudovanie/mashina-semenovechnaya-nvx>
11. Perevalov, L., Fadeev, L., Piven, O., Timchenko, V., Diachenko, M. (2020). Theoretical and experimental researches of the process of seed dehulling of sunflower confectionery sort. *Integrated Technologies and Energy Saving*, 2, 57–68. <https://doi.org/10.20998/2078-5364.2020.2.07>
12. Lindström, L. I., Franchini, M. C., Nolasco, S. M. (2021). Sunflower fruit hullability and structure as affected by genotype, environment and canopy shading. *Annals of Applied Biology*, 180 (3), 338–347. <https://doi.org/10.1111/aab.12735>
13. Gupta, R. K., Das, S. K. (2000). Fracture resistance of sunflower seed and kernel to compressive loading. *Journal of Food Engineering*, 46 (1), 1–8. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00061-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00061-3)
14. Ullegaddi, M. M., Mahandra Babu, N. C., Faisal, A. R., Mohammad, M., Shreenidhi, M. S., Anjum, S. (2021). Design and development of compact Foxtail millet deshelling machine. *Materials Today: Proceedings*, 42, 781–785. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.314>
15. Hasantabar, S., Seyedi, S., Kalantari, D. (2019). Design, construction and evaluation of a seed pod husker and testing with soybean and mung bean. *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal*, 21, 90–99. Available at: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/4866/>

16. Kang, D., Wang, Y., Fan, Y., Chen, Z. (2018). Research and development of *Camellia oleifera* fruit sheller and sorting machine. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 108, 042051. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/108/4/042051>
17. Dehulling Ancient Grains: Economic Considerations and Equipment. <https://eorganic.org/node/13028>
18. Khodabakhshian, R., Bayati, M. R., Shakeri, M. (2011). Performance Evaluation of a Centrifugal Peeling System for Pistachio Nuts. *International Journal of Food Engineering*, 7 (4). <https://doi.org/10.2202/1556-3758.2135>
19. Complex Oilseed Processing. Available at: <https://www.farmet.cz/en/complex-oilseed-processing>
20. Khaliullin, D., Badretdinov, I., Naficov, I., Lukmanov, R. (2021). Theoretical justification of design and technological parameters of hulling machine main working bodies. *Engineering for Rural Development*. <https://doi.org/10.22616/erdev.2021.20.tf321>
21. Zhang, J. (2019). Design of the gordon euryale seed automatic shelling machine. *Journal of Physics: Conference Series*, 1423 (1), 012053. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1423/1/012053>
22. Sun, Q., Wang, C., Wang, Z., Zhao, Y., Bao, C. (2017). Design and Experiment of a Peanut Shelling Machine. *Agricultural Research*, 6 (3), 304–311. <https://doi.org/10.1007/s40003-017-0265-7>
23. Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachennia yakosti. DSTU 4138-2002. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. Available at: [https://www.agrodialog.com.ua/wp-content/uploads/2018/04/dstu-4138\\_2002.pdf](https://www.agrodialog.com.ua/wp-content/uploads/2018/04/dstu-4138_2002.pdf)
24. Netroba, A., Teslenko, S., Vriukalo, E., Perevalov, L., Sadovnychiy, H. (2014). Influence of conditions dehulling sunflower seeds on transition wax in sunflower oil. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (67)), 41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.20793>
25. Koropchenko, S. P., Petrachenko, D. O. (2018). Pat. No. 122649 UA. Prystryi dlia obrushuvannia nasinnia konopel. MPK B02B 3/02, C11B 1/04 No. u201705606; declared: 06.06.2017; published: 25.01.2018, Bul. No. 2.
26. Khailis, H. A., Konovaliuk, D. M. (1992) *Osnovy proektuvannia i doslidzhennia silskohospodarskykh mashyn*. Kyiv: NMK VO, 320.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.301325**  
**WORKING PROCESS MODEL DEVELOPMENT**  
**OF THE GAS TURBINE ENGINE COMBUSTOR**  
**FUELING ON METHANOL (p. 49–54)**

**Mykhailo Shevchenko**

National Aerospace University  
 «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0806-6632>

**Maya Ambrozhevich**

National Aerospace University  
 «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0856-8234>

**Kseniia Fesenko**

National Aerospace University  
 «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3979-1789>

The use of methanol as a fuel for aircraft and stationary gas turbine engines (GTE) is a priority direction in engine building. It is well known that when modeling the GTE performances using first-level mathematical models, there is an error in calculating specific fuel consumption, which is caused by the simplified description of the GTE combustor working process. The object of the study is the working process in the GTE combustor fueling on methanol. The peculiarity of the developed mathematical model of the working

process of the GTE combustor is the use of enthalpy dependencies on temperature, pressure, and mixture composition. Enthalpy dependencies in this form implicitly account for the effect of thermal dissociation and allow for the correct formulation of the equivalent combustion reaction path. For two components (H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub>), accounting for pressure leads to the fact that at standard temperature and partial pressures exceeding the saturation pressure, these components exist in a liquid state. This situation, with a constant enthalpy increment in the equivalent process of heating the combustion products from the standard temperature to the temperature at the end of adiabatic heat supply, decreases this temperature.

Clarification of the temperature at the combustor outlet leads to changes in all calculated combustor performances, including the combustor fuel air ratio. The calculation results of the fuel air ratio are compared with known experimental data of the General Electric CF6-80A engine combustor (USA). The average calculation error of the fuel air ratio does not exceed 4 %. The developed model can be implemented in existing and developing mathematical models of gas turbine engines for temperatures at the end of the combustion process below 2,600 K.

**Keywords:** fuel air ratio, combustor, methanol, enthalpy, mathematical model of the combustor.

**References**

1. Gupta, K. K., Rehman, A., Sarviya, R. M. (2010). Bio-fuels for the gas turbine: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (9), 2946–2955. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.025>
2. Wang, C., Cheng, K., Qin, J., Shao, J., Huang, H. (2022). Performance comparison of three chemical precooled turbine engine cycles using methanol and n-decane as the precooling fuels. *Energy*, 249, 123606. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123606>
3. Burnes, D., Camou, A. (2019). Impact of Fuel Composition on Gas Turbine Engine Performance. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 141 (10). <https://doi.org/10.1115/1.4044238>
4. Cherednichenko, O., Havrysh, V., Shebanin, V., Kalinichenko, A., Mentel, G., Nakonieczny, J. (2020). Local Green Power Supply Plants Based on Alcohol Regenerative Gas Turbines: Economic and Environmental Aspects. *Energies*, 13 (9), 2156. <https://doi.org/10.3390/en13092156>
5. Ayaz, S. K., Altuntas, O., Caliskan, H. (2021). Enhanced life cycle modelling of a micro gas turbine fuelled with various fuels for sustainable electricity production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, 111323. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111323>
6. Seyam, S., Dincer, I., Agelin-Chaab, M. (2022). Economic and environmental impact assessments of hybridized aircraft engines with hydrogen and other fuels. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47 (22), 11669–11685. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.01.171>
7. Marchi, C. H., Araki, L. K. (2015). Evaluation of Chemical Equilibrium and Non-Equilibrium Properties for LOX/LH<sub>2</sub> Reaction Schemes. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 7 (1), 31–42. <https://doi.org/10.5028/jatm.v7i1.426>
8. Ambrozhevich, M. V., Shevchenko, M. A. (2019). Analytical determination of isobaric heat capacity of air and combustion gases with influence of pressure and effect of thermal dissociation. *Aerospace Technic and Technology*, 1, 4–17. <https://doi.org/10.32620/akt.2019.1.01>
9. Datsenko, V., Boyko, L. (2023). Determining the influence of compressor flow path abrasive wear on the gas turbine engine characteristics. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (122)), 12–24. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.275546>
10. Kislov, O., Shevchenko, M. (2021). Development of a method for selecting a cruising mode and engine control program of a ramjet aircraft. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (3 (111)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233850>

11. Kislov, O., Ambrozhevich, M., Shevchenko, M. (2021). Development of a method to improve the calculation accuracy of specific fuel consumption for performance modeling of air-breathing engines. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (8 (110)), 23–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229515>
12. Dodds, W., Ekstedt, E., Bahr, D. (1983). Methanol combustion in a CF61-80A engine combustor. 19th Joint Propulsion Conference. <https://doi.org/10.2514/6.1983-1138>
13. Dodds, W., Ekstedt, E., Bahr, D., Fear, J. (1982). NASA/General Electric broad-specification fuels combustion technology program – Phase I results and status. 18th Joint Propulsion Conference. <https://doi.org/10.2514/6.1982-1089>
14. Druzhinin, L. N., Shvets, L. I., Malinina, N. S. (1983). Metod i podprogramma rascheta termodinamicheskikh parametrov vozduha i produktov sgoraniya uglevodorodnyh topliv. Rukovodyashchiy tehn. material aviatсионnoy tehniki. RTM 1677–83. Dvigateli aviatсионnye i gazoturbinnnye.
15. Isaev, S. I. (1986). Kurs himicheskoy termodinamiki. Moscow: Vysshaya shkola, 272.
16. Ambrozhevich, M. V., Shevchenko, M. A. (2019). Equations of average isobaric heat capacity of air and combustion gases with influence of pressure and effect of thermal dissociation. *Aerospace Technic and Technology*, 2, 18–29. <https://doi.org/10.32620/akt.2019.2.02>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299653**  
**REVEALING THE IMPACT OF LOSSES ON FLEXIBLE PAVEMENT DUE TO VEHICLE OVERLOADING (p. 55–63)**

**Muh Miftahulkhair**

Universitas Brawijaya, Malang, East Java, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0003-1739-6320>

**Muhammad Zainul Arifin**

Universitas Brawijaya, Malang, East Java, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7611-8134>

**Fauzul Rizal Sutikno**

Universitas Brawijaya, Malang, East Java, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8908-5183>

Pavement overload has become a significant concern in Indonesia due to its damaging effects on the pavement system, where most roads use flexible pavements. Meanwhile, overloading is also typical in other developing countries, causing everything from damage to accidents to the detriment of road users and operators. The current problem is that there is no definite knowledge of handling these overloaded vehicles, which has adverse effects. Therefore, this study aims to reveal the impact of losses caused by overloaded vehicles on flexible pavement.

This research uses vehicle traffic load data to examine actual conditions in the field, which are converted to axle load values for each vehicle and used to determine pavement condition using the truck factor approach, mechanistic-empirical design, pavement smoothness level, and the impact of overloading due to fuel consumption by vehicles on flexible pavement.

The results show that overloaded vehicles harm the flexible pavement. The increase in truck factor values for all vehicles in overloaded vehicles beyond the maximum allowable load results in more damage to the flexible pavement with an increase in truck factor values up to 83 %. The effect of overloading can be mitigated by increasing the thickness of the asphalt layer and the modulus of asphalt, so it is essential to pay attention to the quality of asphalt in anticipation of this overloading. To anticipate the overload phenomenon, it was found that the thickness of the asphalt overlay in the range of 170–205 mm could mitigate this detrimental effect.

In addition, overloading affects the flexible pavement roughness and vehicle fuel consumption. Increased roughness and fuel consumption will increase road maintenance costs and affect driving comfort and safety. In addition, excessive fuel consumption can pollute the surrounding environment.

**Keywords:** flexible pavement, mechanistic-empirical pavement design, overloading, truck factor, excess fuel consumption.

## References

1. Zhou, Y., Tong, C., Wang, Y. (2022). Road construction, economic growth, and poverty alleviation in China. *Growth and Change*, 53 (3), 1306–1332. <https://doi.org/10.1111/grow.12617>
2. Idei, R., Kato, H. (2018). Changes in Individual Economic Activities and Regional Market Structures Caused by Rural Road Improvements in Cambodia. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2672 (3), 26–36. <https://doi.org/10.1177/0361198118783863>
3. Syadullah, M., Setyawan, D. (2021). The Impact of Infrastructure Spending on Economic Growth: A Case Study of Indonesia. *Communications – Scientific Letters of the University of Zilina*, 23 (3), A184–A192. <https://doi.org/10.26552/com.c.2021.3.a184-a192>
4. Rifai, A. I., Hadiwardoyo, S. P., Correia, A. G., Pereira, P., Cortez, P. (2015). The Data Mining Applied for the Prediction of Highway Roughness due to Overloaded Trucks. *International Journal of Technology*, 6 (5), 751. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v6i5.1186>
5. Azis, A., Krisbiantoro, D., R. (2023). Internet of Things (IoT) Innovation and Application to Intelligent Governance Systems: A Case Study on DISHUB for Transport Vehicles. *JOIV : International Journal on Informatics Visualization*, 7 (1), 193. <https://doi.org/10.30630/joiv.7.1.1282>
6. Wang, B., De Backer, H., Zhou, X.-Y., Chen, A. (2020). Two-stage crack growth-based fatigue damage evaluation of orthotropic steel decks considering vehicle overload. *Structure and Infrastructure Engineering*, 17 (5), 591–604. <https://doi.org/10.1080/15732479.2020.1759657>
7. Prastyanto, C. A., Hidayat, A. S. (2023). The Evaluation of Equivalent Axle Load Equation Based on Deflection Value before and after Overlay Flexible Pavement. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1209 (1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1209/1/012002>
8. Yulfadli, Z., Arifin, M. Z., Djakfar, L., Wicaksono, A., Nafis, Moch. A. (2023). Analysis of the impact of the railway allowance policy and the increase in fines for loaded trucks on the transfer of modes to rail transportation types. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (3 (124)), 54–59. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.285861>
9. Budiharjo, A., Fauzi, A., Masrukhin, Prasetyo, B. (2021). The Relationship between Overloading and Over Dimension of Freight Vehicle. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 11 (4), 1588. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.11.4.11430>
10. Ryguła, A., Brzozowski, K., Maczyński, A. (2020). Limitations of the effectiveness of Weigh in Motion systems. *Open Engineering*, 10 (1), 183–196. <https://doi.org/10.1515/eng-2020-0020>
11. Liu, Z., Gu, X., Dong, Q. (2024). Permanent Deformation Evaluation and Instability Prediction of Semi-rigid Pavement Structure Using Accelerated Pavement Testing and Finite Element Method. *Journal of Testing and Evaluation*, 52 (1). <https://doi.org/10.1520/jte20230209>
12. The Manual of Pavement Design Guide No. 02/M/BM/2017 (2017). Directorate General of Highway.
13. Li, Q., Xiao, D. X., Wang, K. C. P., Hall, K. D., Qiu, Y. (2011). Mechanistic-empirical pavement design guide (MEPDG): a bird's-eye view. *Journal of Modern Transportation*, 19 (2), 114–133. <https://doi.org/10.1007/bf03325749>

14. Hatoum, A., Khatib, J., Elkordi, A. (2023). Comparison of Flexible Pavement Designs: Mechanistic-Empirical (NCHRP1-37A) Versus Empirical (AASHTO 1993) Flexible Pavement Design Using Available Local Calibration Models. *Transportation Infrastructure Geotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s40515-023-00305-2>
15. Rys, D., Judycki, J., Jaskula, P. (2015). Analysis of effect of overloaded vehicles on fatigue life of flexible pavements based on weigh in motion (WIM) data. *International Journal of Pavement Engineering*, 17 (8), 716–726. <https://doi.org/10.1080/10298436.2015.1019493>
16. Rys, D., Jaskula, P. (2018). Effect of Overloaded Vehicles on Whole Life Cycle Cost of Flexible Pavements. *Sustainable Civil Infrastructures*, 104–117. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-95789-0\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-95789-0_10)
17. Jihanny, J. (2021). The overload impact on design life of flexible pavement. *International Journal of GEOMATE*, 20 (78). <https://doi.org/10.21660/2021.78.j2020>
18. Jihanny, J., Subagio, B. S., Hariyadi, E. S. (2018). The analysis of overloaded trucks in indonesia based on weigh in motion data (east of sumatera national road case study). *MATEC Web of Conferences*, 147, 02006. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814702006>
19. Kinasih, R. K., Ratna Putri, M. D., Nabila, N. (2020). Modified Zero Overloading Policy Impact to Pavement's Service Life. *Engineering, MAThematics and Computer Science (EMACS) Journal*, 2 (2), 41–46. <https://doi.org/10.21512/emacsjournal.v2i2.6333>
20. Wang, H., Al-Saadi, I., Lu, P., Jasim, A. (2019). Quantifying greenhouse gas emission of asphalt pavement preservation at construction and use stages using life-cycle assessment. *International Journal of Sustainable Transportation*, 14 (1), 25–34. <https://doi.org/10.1080/15568318.2018.1519086>
21. Kabongo Booto, G., Run Vignisdottir, H., Marinelli, G., Brattebo, H., Bohne, R. A. (2020). Optimizing Road Gradients Regarding Earthwork Cost, Fuel Cost, and Tank-to-Wheel Emissions. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 146 (3). <https://doi.org/10.1061/jtepbs.0000289>
22. Amorim, S. I. R., Pais, J. C., Vale, A. C., Minhoto, M. J. C. (2014). A model for equivalent axle load factors. *International Journal of Pavement Engineering*, 16 (10), 881–893. <https://doi.org/10.1080/10298436.2014.968570>
23. Pais, J., Pereira, P. (2016). The Effect of Traffic Overloads on Road Pavements. *Proceedings of the Eighth International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements*. <https://doi.org/10.3850/978-981-11-0449-7-046-cd>
24. Nunn, M. E., Brown, A., Weston, D., Nicholls, J. C. (1997). Design of long-life flexible pavements for heavy traffic. Prepared for Highways Agency, British Aggregate Construction. Transport Research Laboratory. Available at: <https://www.trl.co.uk/Uploads/TRL/Documents/TRL250---Design-of-long-life-flexible-pavements-for-heavy-traffic.pdf>
25. Mechanistic-empirical pavement design guide: A manual of practice (MEPDG-2). American Association of State Highway and Transportation Officials.
26. Liu, X., Al-Qadi, I. L. (2021). Development of a Simulated Three-Dimensional Truck Model to Predict Excess Fuel Consumption Resulting from Pavement Roughness. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2675 (9), 1444–1456. <https://doi.org/10.1177/03611981211007849>
27. Zhou, H., Wang, G., Wang, Y. (2018). Wide-Base Tire-Building Process and Design Optimization Using Finite Element Analysis. *Tire Science and Technology*, 46 (4), 242–259. <https://doi.org/10.2346/tire.18.460405>
28. Xue, W., Weaver, E. (2014). Influence of tyre configuration on pavement response and predicted distress. *International Journal of Pavement Engineering*, 16 (6), 538–548. <https://doi.org/10.1080/10298436.2014.943206>
29. Pais, J. C., Amorim, S. I. R., Minhoto, M. J. C. (2013). Impact of Traffic Overload on Road Pavement Performance. *Journal of Transportation Engineering*, 139 (9), 873–879. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)te.1943-5436.0000571](https://doi.org/10.1061/(asce)te.1943-5436.0000571)
30. Alavi, S. A. K., Tanzadeh, J., Tahami, S. A., Mirhosseini, A. F. (2020). Performance Evaluation of Hybrid Fibers and Nano-zeolite Modified Asphalt Micro-surfacing. *Journal of Testing and Evaluation*, 48 (3), 2412–2431. <https://doi.org/10.1520/jte20190732>
31. Mashaan, N., Karim, M., Khodary, F., Saboo, N., Milad, A. (2021). Bituminous Pavement Reinforcement with Fiber: A Review. *CivilEng*, 2 (3), 599–611. <https://doi.org/10.3390/civileng2030033>
32. Mugume, R. B., Musumba, S. (2020). Contribution of reactive aggregates towards the performance of in-service asphalt pavements. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 14 (5), 530–536. <https://doi.org/10.1007/s42947-020-0109-x>
33. Subagio, B. S., Prayoga, A. B., Fadilah, S. R. (2022). Implementation of Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide against Indonesian Conditions using Arizona Calibration. *The Open Civil Engineering Journal*, 16 (1). <https://doi.org/10.2174/18741495-v16-e221026-2022-45>
34. Rahmawati, A., Adly, E., Lutfiyanto, I., A Syifa, M. (2019). The Overloading Effect on the Design Life of Road and Thickness of Pavement Layer. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 650 (1), 012051. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/650/1/012051>
35. Zhang, G., Li, Y., King, M. J., Zhong, Q. (2018). Overloading among crash-involved vehicles in China: identification of factors associated with overloading and crash severity. *Injury Prevention*, 25 (1), 36–46. <https://doi.org/10.1136/injuryprev-2017-042599>
36. Jereb, B., Kumperščak, S., Bratina, T. (2018). The impact of traffic flow on fuel consumption increase in the urban environment. *FME Transaction*, 46 (3), 278–284. <https://doi.org/10.5937/fmet1802278j>
37. Hyks, O., Neubergova, K., Pribyl, P. (2018). Influence of Driving Fluency on Economic and Ecological Aspects of Transport. *Communications – Scientific Letters of the University of Zilina*, 20 (3), 9–14. <https://doi.org/10.26552/com.c.2018.3.9-14>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302833**  
**IMPROVING A METHODOLOGY FOR ESTIMATING THE CROSS-COUNTRY ABILITY OF ALL-WHEEL-DRIVE VEHICLES (p. 64–72)**

**Mykhailo Hrubel**

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4820-6935>

**Lubomir Kraynyk**

Lviv National Environmental University, Dubliany, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0524-9126>

**Maryna Mikhalieva**

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5612-3737>

**Vasyl Zalyпка**

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5189-8370>

**Mykhailo Manziak**

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5634-9231>

**Vitalii Khoma**

Lviv National Environmental University, Dubliany, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4821-4561>

**Olena Lanets**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7149-0957>



**Dmytro Ruban**

Lviv National Environmental University, Dubliany, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0671-3226>

**Anatolii Andriienko**

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7018-3784>

**Vasyl Kokhan**

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8909-811X>

The object of this study is the cross-country ability of four-wheel drive vehicles under off-road conditions.

Based on the results of analysis of known studies, it was determined that the procedures of experimental assessment of the load-bearing capacity of bearing surfaces (BS), based on the use of the cone index, are used in NATO member countries. They take into account the characteristics of the surface of the theater of operations and make it possible to determine the approximate speeds of all-wheel drive vehicles with the help of standardized computer software. In the procedures for assessing the load-bearing capacity of BSs, which use the soil deformation module E, there is no possibility for calculating the speed of the car with known axle loads. In addition, they provide for the determination of a number of parameters of the bearing surface, such as the coefficient of adhesion, the angle of internal friction in the soil, and the shear modulus during the formation of a track. This makes them much more difficult compared to the procedures used by NATO.

Therefore, the problem that is solved in this work is to improve the methodology for assessing the reference cross-country ability of four-wheel drive vehicles.

Based on the results of scientific research, motion modeling was carried out in the MATLAB Simulink environment to determine parameters of reference cross-country ability of four-wheel drive vehicles.

In order to determine the cross-country ability of samples of wheeled military vehicles (WMV) based on the indicator of the maximum pressure value (mean measure pressure – MMP), the conducted experimental studies were analyzed. They showed a difference in the speed modes of vehicles of the same gross weight but different layout schemes, within 11–12 %. Therefore, the methodology for assessing the cross-country ability based on MMP has been improved to take into account the features of the layout of WMV samples. Specifically, taking into account the different values of loads on the front axle of vehicles with hoodless and hood layouts at the same gross weight.

In general, the improved procedure makes it possible to give a quantitative assessment of the movement mobility of WMV samples with various layout schemes and an assessment of their potential cross-country ability on the basis of the proposed refinement of MMP calculation.

**Keywords:** bearing capacity of the soil, motion simulation, reference car cross-country ability, determination of the cone index, cross-country ability assessment according to MMP.

**References**

- Mastinu, G., Ploechl, M. (Eds.) (2014). Road and Off-Road Vehicle System Dynamics Handbook. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b15560>
- Dawid, W., Pokonieczny, K. (2020). Analysis of the Possibilities of Using Different Resolution Digital Elevation Models in the Study of Microrelief on the Example of Terrain Passability. Remote Sensing, 12 (24), 4146. <https://doi.org/10.3390/rs12244146>
- Zhu, Y., Li, X., Zhang, X., Li, S., Liu, Q., Yuan, S. (2022). Research on Tire-Road Parameters Estimation Algorithm for Skid-Steered Wheeled Unmanned Ground Vehicle. Machines, 10 (11), 1015. <https://doi.org/10.3390/machines10111015>
- Dawid, W., Pokonieczny, K., Wyszyński, M. (2022). The methodology of determining optimum access routes to remote areas for the purposes of crisis management. International Journal of Digital Earth, 15 (1), 1905–1928. <https://doi.org/10.1080/17538947.2022.2134936>
- Ayers, P., Rice, M. (2017). Analysis of vehicle platoon movement and speed-spacing relationships during military exercises. Journal of Terramechanics, 73, 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2017.05.001>
- Pundir, S. K., Garg, R. D. (2021). Development of rule based approach for assessment of off-road trafficability using remote sensing and ancillary data. Quaternary International, 575-576, 308–316. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.07.017>
- Chen, J., Jia, K., Wang, Z., Sun, Z. (2021). A Data Acquisition Method for Vehicle Geometry Passability Measure. 2021 China Automation Congress (CAC). <https://doi.org/10.1109/cac53003.2021.9728519>
- Hrubel, M. H., Krainyk, L. V., Kuprinenko, O. M. (2019) Metodolohiya otsinky opornoj prokhidnosti kolisnoi viyskovoї avtomobilnoi tekhniki. Ozbroyennia ta viyskova tekhnika, 4 (24), 22–31. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt\\_2019\\_4\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt_2019_4_4)
- International society for terrain-vehicle systems standards (1977). Journal of Terramechanics, 14 (3), 153–182. [https://doi.org/10.1016/0022-4898\(77\)90013-1](https://doi.org/10.1016/0022-4898(77)90013-1)
- Bezborodova, G. B. (1969). Issledovanie prohodimosti avtomobiley. Kyiv, 483.
- Hrubel, M., Krainyk, L., Bodnar, M. (2019). Otsinka tiahovo-shvydkisnykh kharakterystyk viyskovoї avtomobilnoi tekhniki za umov rukhu bezdorizhzhiam metodamy imitatsynoho modeliuвання. Ozbroyennia ta viyskova tekhnika, 3 (23), 46–52. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt\\_2019\\_3\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt_2019_3_6)
- Hrubel, M. H., Krainyk, L. V. (2023). Prokhidnist viyskovykh avtomobiliv. Kyiv: Profesional, 182.
- He, R., Sandu, C., Mousavi, H., Shenvi, M. N., Braun, K., Kruger, R., Els, P. S. (2020). Updated Standards of the International Society for Terrain-Vehicle Systems. Journal of Terramechanics, 91, 185–231. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2020.06.007>
- Rowland, D. (1975). A Review of vehicle for soft ground operation. Proceedings of the 5th International Conference of the Society of Terrain – Vehicle Systems, 179–219.
- Hrubel, M., Krainyk, L., Khoma, V. (2020). Simulation modelling of wheeled military automotive equipment movement in off-road conditions and assessment of its adequacy. Avtoshliakhovyk Ukrainy, 2 (262), 21–28. <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2020-2-262-21-28>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.301542**

**UPLIFTING THE STUDY OF THE INLINE INSPECTION TECHNIQUE ON THE BUCKLING PIPELINES IN PIPELINE INTEGRITY MANAGEMENT STRATEGY (p. 73–82)**

**Dony Soelistiyono**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1295-6785>

**Johny Wahyuadi Soedarsono**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6051-2866>

**Badrul Munir**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8541-6499>

**Michael Oktavianes**

Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java, Jakarta, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0001-4445-9468>

**Agus Paul Setiawan Kaban**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9706-0506>

**Sidhi Aribowo**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7255-1931>

**Dedy Iskandar**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0002-5294-7557>

This work reports the development of inline inspection (ILI) methodology to enhance the pigging activity for the dented pipeline, facilitate the pigging process to prevent Pipeline Inspection Gauge (PIG) from getting stuck and improve the safety passage for buckled pipelines. The recent report unveils the condition of the UNPIGGABLE pipelines, which reduce the inner diameter of pipelines to 257.51 mm, equivalent to 27.58 % of the initial diameter and restricts the pigging activity. In this report, the pull-through test coupled with the collapsibility test was conducted. The success of the test above allows the ILI equipment based on the magnetic flux leakage (MFL) technique to record the internal and external wall loss inwardly and geometric defect on diameter of the pipelines. The prepared artificial dented pipeline was made before it underwent several tests. Based on the pull-through test, the maximum force of 27000 N is more significant than the pipeline operating pressure to enable the MFL tool to pass through the pipelines despite exhibiting the geometry anomaly. Compressing the opposite magnetic yoke of the collapsibility test is critical, showing that the ILI MFL tool reaches its maximum compression of 242 mm. The value is lower than the minimum internal diameter of 257 mm. The ILI results show that the highest metal loss was achieved at 73 % at 15504 m at the bottom of the inspected pipelines. At the same time, the dented area reduces to more than 6 % of the pipelines' nominal outer diameter and imposes the pipe's integrity status to red. The distinctive result of the research can be used to model the future unprecedented pigging process when buckles appear in pipelines.

**Keywords:** pipeline integrity management, inline inspection, internal and external corrosion, pull-through test, collapsibility test, asset integrity, pipeline dent.

**References**

- Khan, F. I., Haddara, M. M., Bhattacharya, S. K. (2005). Risk-Based Integrity and Inspection Modeling (RBIIM) of Process Components/System. *Risk Analysis*, 26 (1), 203–221. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2006.00705.x>
- Ismail, W. M. M. W., Napiah, M. N. M. A., Zabidi, M. Z. M., Tuselim, A. S. M. (2020). Managing Risk: Effective Use of Structural Reliability Assessment (SRA) and Quantitative Risk Assessment (QRA) for Sabah-Sarawak Gas Pipeline (SSGP). *Pipeline Integrity Management Under Geohazard Conditions (PIMG)*, 387–394. [https://doi.org/10.1115/1.861998\\_ch41](https://doi.org/10.1115/1.861998_ch41)
- Adityawarman, T., Kaban, A. P. S., Soedarsono, J. W. (2022). A Recent Review of Risk-Based Inspection Development to Support Service Excellence in the Oil and Gas Industry: An Artificial Intelligence Perspective. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part B: Mechanical Engineering*, 9 (1). <https://doi.org/10.1115/1.4054558>
- Adityawarman, T., Soedarsono, J. W., Kaban, A. P. S., Riastuti, R., Rahmadani, H. (2022). The Study of Artificial Intelligent in Risk-Based Inspection Assessment and Screening: A Study Case of Inline Inspection. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part B: Mechanical Engineering*, 9 (1). <https://doi.org/10.1115/1.4054969>
- Zhao, H. S., Lie, S. T., Zhang, Y. (2017). Elastic-plastic fracture analyses for misaligned clad pipeline containing a canoe shape surface crack subjected to large plastic deformation. *Ocean Engineering*, 146, 87–100. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.09.058>
- Yuan, L., Zhou, J., Yu, Z., Xu, W. (2023). Numerical investigation of buckling behavior of dented lined pipe under bending. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 205, 104997. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2023.104997>
- Du, F., Li, C., Wang, W. (2023). Development of Subsea Pipeline Buckling, Corrosion and Leakage Monitoring. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11 (1), 188. <https://doi.org/10.3390/jmse11010188>
- L. G. Brazier (1927). On the flexure of thin cylindrical shells and other «thin» sections. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*. <https://doi.org/10.1098/rspa.1927.0125>
- Ju, G. T., Kyriakides, S. (1992). Bifurcation and localization instabilities in cylindrical shells under bending – II. Predictions. *International Journal of Solids and Structures*, 29 (9), 1143–1171. [https://doi.org/10.1016/0020-7683\(92\)90140-o](https://doi.org/10.1016/0020-7683(92)90140-o)
- Iflefel, I. B., Moffat, D. G., Mistry, J. (2005). The interaction of pressure and bending on a dented pipe. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 82 (10), 761–769. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2005.06.002>
- DNVGL-ST-F101 Submarine pipeline systems. *Dnvgl-St-F101* (2017).
- The American Petroleum Institute. *API RP 1111 4th edition-design, construction, operation, and maintenance of offshore hydrocarbon pipelines* (2009)
- Obeid, O., Alfano, G., Bahai, H., Jouhara, H. (2018). Mechanical response of a lined pipe under dynamic impact. *Engineering Failure Analysis*, 88, 35–53. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.02.013>
- Zhu, X.-K. (2023). A verification study of fatigue-based methods in API RP 1183 for estimating fatigue life of pipeline dents. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 205, 104969. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2023.104969>
- Chen, B.-Q., Zhang, X., Guedes Soares, C. (2022). The effect of general and localized corrossions on the collapse pressure of subsea pipelines. *Ocean Engineering*, 247, 110719. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.110719>
- Kaban, A. P. S., Ridhova, A., Priyotomo, G., Elya, B., Maksum, A., Sadel, Y. et al. (2021). Development of white tea extract as green corrosion inhibitor in mild steel under 1 M hydrochloric acid solution. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (110)), 6–20. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224435>
- Beltrán-Zuñiga, M. A., Rivas-López, D. I., Dorantes-Rosales, H. J., González-Zapatero, W., Ferreira-Palma, C., López-Hirata, V. M., Hernández-Santiago, F. (2023). Fatigue life assessment of low carbon API 5L X52 pipeline steels retired from long-term service. *Engineering Failure Analysis*, 143, 106769. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106769>
- Zhang, L., Hu, Z., Li, H., She, H., Wang, X. (2023). Impact of water delivery pipeline leakage on collapsible loess foundations and treatment methods. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02341. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02341>
- Jiang, M., Liu, J., Li, T., Lei, H., Wu, X., Cao, P. (2020). DEM analyses of constant stress ratio compression and collapsibility tests on unsaturated structural loess. *Japanese Geotechnical Society Special Publication*, 8 (6), 227–230. <https://doi.org/10.3208/jgssp.v08.c42>
- Olugboji, O. A., Abolarin, M. S., Adedipe, O., Ajani, C., Atolagbe, G., Aba, E. N. (2022). Pipeline inspection using a low-cost Wi-Fi based intelligent pigging solution. *Nigerian Journal of Technology*, 41 (5), 844–853. <https://doi.org/10.4314/njt.v41i5.4>

21. Hendrix, M. H. W., Graafland, C. M., van Ostayen, R. A. J. (2018). Frictional forces for disc-type pigging of pipelines. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 171, 905–918. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.07.076>
22. Garbatov, Y., Guedes Soares, C. (2017). Fatigue reliability of dented pipeline based on limited experimental data. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 155, 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2017.07.001>
23. Mueller, E., Liu, X., Chhatre, R., Lamm, A. (2017). Investigation and Recommendations on Bottom-Dented Petroleum Pipelines. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 18 (1), 66–74. <https://doi.org/10.1007/s11668-017-0381-5>
24. Zhang, H., Gao, M.-Q., Tang, B., Cui, C., Xu, X.-F. (2022). Dynamic characteristics of the pipeline inspection gauge under girth weld excitation in submarine pipeline. *Petroleum Science*, 19 (2), 774–788. <https://doi.org/10.1016/j.petsci.2021.09.044>
25. Chen, Z., Qiu, X., Yang, L. (2022). Deformation and stress analysis of cup on pipeline inspection gauge based on reverse measurement. *Energy Science & Engineering*, 10 (7), 2509–2526. <https://doi.org/10.1002/ese3.1241>
26. Solomon, E., Massie-Schuh, E., Moore, M., Moran, R., Paschoalino, M., Moore, J., Wunch, K. (2020). Development of a Rapid Method for Measuring Preservative Biocide Performance in Hydraulic Fracturing. SPE Annual Technical Conference and Exhibition. <https://doi.org/10.2118/201523-ms>
27. Pereira, J. C., Borovkov, H., Zubiri, F., Guerra, M. C., Caminos, J. (2021). Optimization of Thin Walls with Sharp Corners in SS316L and IN718 Alloys Manufactured with Laser Metal Deposition. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 5 (1), 5. <https://doi.org/10.3390/jmmp5010005>
28. Daniyan, I., Balogun, V., Oladapo, B., Ererughurie, O. K., Daniyan, O. L. (2021). Development of an Inline Pipe Inspection Robot for the Oil and Gas Industry. *International Journal of Automation and Smart Technology*, 12 (1), 2251–2251. <https://doi.org/10.5875/ausmt.v12i1.2251>
29. Aslanov, H., Novruzov, A., Harun, A. (2019). Managing Wax-Deposition Risks in Oil Subsea Pipelines by Integrating Wax Modeling and Pigging Performance. *SPE Production & Operations*, 34 (03), 625–634. <https://doi.org/10.2118/194506-pa>
30. Okolokwe, C., Fowler, M., Virk, A., Yoosef-Ghods, N., Kainat, M. (2020). Reliability-Based Assessment of Safe Excavation Pressure for Dented Pipelines. Volume 1: Pipeline and Facilities Integrity. <https://doi.org/10.1115/ipc2020-9399>
31. Cui, L., Kang, W., You, H., Cheng, J., Li, Z. (2020). Experimental Study on Corrosion of J55 Casing Steel and N80 Tubing Steel in High Pressure and High Temperature Solution Containing CO<sub>2</sub> and NaCl. *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*, 7 (1). <https://doi.org/10.1007/s40735-020-00449-5>
32. Wadeson, D. A., Zhou, X., Thompson, G. E., Skeldon, P., Oosterkamp, L. D., Scamans, G. (2006). Corrosion behaviour of friction stir welded AA7108 T79 aluminium alloy. *Corrosion Science*, 48 (4), 887–897. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2005.02.020>
33. Gu, J., Zhang, H., Chen, L., Lian, S. (2019). The Application of the Big Data Algorithm for Pipeline Lifetime Analysis. 2019 Chinese Automation Congress (CAC). <https://doi.org/10.1109/cac48633.2019.8996228>

## АНОТАЦІЇ

## ENGINEERING TECHNOLOGICAL SYSTEMS

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.301421

**ОЦІНКА НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ПАЛЬ ЗМІННОГО ПРОФІЛЮ У ҐРУНТІ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ СТАТИЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ НА ВИПРОБУВАЛЬНОМУ ОБЛАДНАННІ (с. 6–13)**

Rauan Lukpanov, Serik Yenkebaev, Zhibek Zhantlessova, Duman Dyusseminov, Aliya Altynbekova, Ruslan Rahimov

У роботі представлені результати дослідження запропонованого типу паль змінного профілю. Запропонований тип паль являє собою сегментовані за довжиною залізобетонні забивні палі. Кожна наступна секція має радіальне зміщення за віссю симетрії відносно попередньої секції. Позитивний ефект від використання запропонованої палі полягає у зміні характеру бічного контакту палі з ґрунтом та збільшенні опору ґрунту. Проведені дослідження спрямовані на вирішення проблеми, пов'язаної з відносно низькою несучою здатністю традиційних паль квадратного перетину. Дослідження проводилося методом модельних випробувань паль на випробувальному стенді (лотку) у масштабі 1:10. Випробування виконувались для різних типів паль порівняно зі стандартною призматичною палею квадратного перетину. Прийняті розміри моделі палі дозволяють використовувати даний лоток без впливу граничних умов на напружено-деформований стан ґрунту. Усього проведено 42 випробування, по 3 випробування для кожного типу порівнюваних паль. Оцінка несучої здатності паль проводилася шляхом статичного навантаження моделей паль вертикальним вдавлюючим навантаженням до руйнування. За результатами досліджень отримані значення опору порівнюваних типів паль у ґрунті, а також залежність зміни несучої здатності від розмірів перетину і кута повороту. Згідно з результатами було обрано оптимальне рішення палі. Несуча здатність запропонованого оптимального рішення палі перевищує несучу здатність стандартної забивної палі на 22 %. Отримані результати дозволяють зробити висновок про вплив технологічного рішення запропонованого типу палі на її працездатність у ґрунтових умовах.

**Ключові слова:** модельні випробування, палі змінного профілю, забивні палі, випробування статичним навантаженням, несуча здатність.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299970

**ВИЗНАЧЕННЯ ДІЇ ВІБРОХВИЛЬОВОГО СВАБУВАННЯ НА ПРОЦЕСИ ФУНКЦІОНУВАННЯ КАРБОНАТНИХ НИЗЬКОПРОНИКНИХ КОЛЕКТОРІВ (с. 14–20)**

В. П. Рубель, В. В. Рубель, Т. О. Суржко, С. В. Гошовський

Досліджується метод віброхвильового свабування, який використовується для стимуляції припливу рідини до свердловини.

Як відомо, метод полягає в тому, щоб створювати механічні хвилі в ґрунті, що розкривають мікротріщини та пори, збільшуючи при цьому приплив вуглеводнів. В якості об'єкту розглядався карбонатний колектор з низькою проникністю, який досить часто зустрічається в нафтогазовій промисловості. Тому об'єктом дослідження є карбонатні низькопроникні колектори. Адже їх низька проникність робить видобуток нафти та газу з них складним завданням.

В результаті обробки було встановлено, що збільшення амплітуди коливань тиску сприяє підвищенню ефективності віброхвильової дії, так як проникність колектора зростає інтенсивніше, що і підтвердилося коефіцієнтом детермінації який склав  $R^2=0,92$ . А збільшення частоти коливань навпаки знижує, бо зменшується глибина ефективної зони віброхвильової дії, і в цьому випадку коефіцієнт детермінації склав  $R^2=0,81$ .

Для дослідження впливу була розроблена лабораторна установка, яка включала пристрій-плунжер, який генерував збурення рідини в умовній свердловині. Пружинні хвилі, що утворилися, вимірювалися ручним контактним віброметром.

Віброхвильове свабування є перспективним методом для інтенсифікації видобутку вуглеводнів.

Вплив, що досліджується може бути впроваджено на нафтових та газових родовищах з карбонатними низькопроникними колекторами. Це призведе до збільшення видобутку флюїду та підвищення ефективності роботи нафтогазовидобувної галузі.

**Ключові слова:** віброхвильове свабування, низькопроникний колектор, збільшення проникності, амплітуда коливань тиску, інтенсифікація.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.301653

**РОЗРОБКА МОДЕЛІ МЕХАНІЗМУ ПОДРІБНЕННЯ СТИРАННЯМ В БАРАБАННОМУ МЛІНІ НА ОСНОВІ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ (с. 21–33)**

Ю. В. Науменко, К. Ю. Дейнека, С. В. Жабчик

Об'єктом дослідження є процес подрібнення в барабанному мліні при реалізації механізму руйнування стиранням, який спричинено механізмом навантаження зсуванням. Враховано стираючу дію внаслідок імпульсної взаємодії при взаємному хаотичному переміщенні зернистих частинок у зсувному шарі завантаження, що характеризується гранулярною температурою.

Вирішувалась проблема визначення параметрів зсувної взаємодії, яку викликано труднощами моделювання та складністю апаратного аналізу поведінки внутрішньомлинного завантаження.

Побудовано математичну модель на основі візуалізації даних для механізму подрібнення стиранням.

Як аналог продуктивності подрібнення прийнято потужність сил зсувної взаємодії. Вихідною характеристикою зсування вважалась усереднене значення градієнта зсувної швидкості у центральному усередненому нормальному перерізі зсувного шару. Враховано вплив на продуктивність гранулярної температури і масової частки зсувного шару та оборотності завантаження.

Експериментальним моделюванням оцінено вплив швидкості обертання на продуктивність при ступені заповнення камери 0.45 та відносному розмірі частинок 0.0104. Встановлено максимальне значення енергії та продуктивності подрібнення стиранням при відносній швидкості обертання  $\psi_{\omega}=0.55-0.6$ .



Отримані результати дозволили встановити раціональну швидкість при подрібненні стиранням  $\psi_{\omega}=0.5-0.6$ . Це значення є меншим у порівнянні з подрібненням роздавлюванням  $\psi_{\omega}=0.55-0.65$  та розбиванням  $\psi_{\omega}=0.75-0.9$ . Встановлений ефект пояснюється виявленою активізацією хаотичного квазітермодинамічного переміщення частинок зсувного шару при тихохідному обертанні.

Розроблена модель дозволяє прогнозувати раціональні технологічні параметри енергоощадного процесу тонкого подрібнення в барабанному млині стиранням.

**Ключові слова:** барабанний млин, внутрішньокамерне завантаження, подрібнення стиранням, гранулярна температура, продуктивність подрібнення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.300174

#### ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ВІДЦЕНТРОВОГО ОБРУШУВАЧА НАСІННЯ КОНОПЕЛЬ (с. 34–48)

В. О. Шейченко, Д. О. Петраченко, С. П. Коропченко, І. Л. Роговський, О. В. Горбенко, М. С. Волянський, Д. В. Шейченко

Об'єктом дослідження є технологічні процеси, насіння промислових конопель, робочі органи обрушувача.

Розроблено пристрій відцентрового типу для обрушування насіння конопель із робочим органом закритого секторального типу. Завдяки цьому вирішено проблему обрушування насіння із високим рівнем ефективності відділення насінневої оболонки від ядра.

Обґрунтовано раціональні параметри обрушувача: діаметр робочого колеса 162 мм, зазор між робочим колесом та відбивною декою 80 мм, частота обертання робочого колеса  $2000 \text{ хв}^{-1}$ . Встановлено, що за зазначених параметрів та вологості насіння в межах кондиційної (12,0–13,0 %) процес обрушування доцільно проводити без попереднього розділення насіння на фракції за шириною.

Встановлено, що збільшення розмірів насіння призводить до відповідного зростання частки ваги насінневих ядер. Близько 58,2 % в основній масі насіння складає середня фракція шириною від 2,5 до 3,0 мм.

Встановлено, що зменшення діаметру робочого колеса (від 236 мм до 162 мм) за вологості насіння 8,8 % підвищувало ефективність обрушування. За частоти обертання робочого колеса  $2000 \text{ хв}^{-1}$  досягнуто найбільшу сумарну кількість цілих та зруйнованих ядер (23,23–29,33 %) для двох досліджуваних вологостей. Зі збільшенням вологості насіння від 8,8 % до 12,0 % кількість обрушених ядер в рушанці збільшувалося.

Відзначено, що для насіння вологістю 8,8 % збільшення зазору призводило до зменшення ефективності обрушування для кожної з трьох досліджуваних фракцій насіння. Сумарна кількість обрушених ядер за таких умов зменшувалася в межах 2,4–6,8 % та складала 16,4–26,9 %. Для насіння вологістю 12,0 % збільшення зазору, навпаки, підвищувало ефективність обрушування для кожної з трьох досліджуваних фракцій насіння. Сумарна кількість обрушених ядер для насіння відміченої вологості збільшувалася в межах 1,4–3,6 % та складала 27,4–31,0 %.

**Ключові слова:** конопілі, насіння, ядро насіння, сепарація, розділення, очищення, частота обертання, відцентровий обрушувач.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.301325

#### РОЗРОБКА МОДЕЛІ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ КАМЕРИ ЗГОРЯННЯ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА ПРАЦЮЮЧОГО НА МЕТАНОЛІ (с. 49–54)

М. А. Шевченко, М. В. Амброжевич, К. В. Фесенко

Використання метанолу в якості палива для авіаційних та стаціонарних газотурбінних двигунів (ГТД) є пріоритетним напрямком у двигунобудуванні. Загальновідомо, що при моделюванні характеристик ГТД математичними моделями (ММ) першого рівня існує похибка розрахунку питомої витрати палива, що викликано спрощеним описом робочого процесу камери згоряння (КЗ). Об'єктом дослідження є робочий процес у КЗ ГТД, що працює на метанолі. Особливістю розробленої ММ робочого процесу КЗ ГТД є використання залежностей ентальпії від температури, тиску та складу суміші. Залежності ентальпії в такій формі враховують ефект термічної дисоціації в неявному вигляді і дозволяють коректно скласти еквівалентний шлях реакції горіння. Для двох компонентів ( $\text{H}_2\text{O}$  та  $\text{CO}_2$ ) врахування тиску призводить до того, що при стандартній температурі та парціальних тисках вище тиску насичення ці компоненти знаходяться в рідкому стані. Це при незмінній величині збільшення ентальпії в еквівалентному процесі нагрівання продуктів згоряння від стандартної температури до температури в кінці адіабатного підведення теплоти змінює цю температуру в меншу сторону. Уточнення температури на виході з камери згоряння призводить до зміни всіх розрахункових характеристик КЗ, включаючи відносну витрату палива КЗ. Результати розрахунку відносної витрати палива зіставлені з відомими експериментальними даними по камері згоряння двигуна CF6-80А фірми «General Electric» (США). Середня похибка розрахунку відносної витрати палива не перевищує 4 %. Розроблена модель може бути імплементована в існуючі та розроблювані ММ ГТД для температур кінця процесу згоряння нижче 2600 К.

**Ключові слова:** відносна витрата палива, камера згоряння, метанол, ентальпія, математична модель камери згоряння.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299653

#### ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВТРАТ НА НЕЖОРСТКИЙ ДОРОЖНИЙ ОДЯГ ВНАСЛІДОК ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ (с. 55–63)

Muh Miftahulkhair, Muhammad Zainul Arifin, Fauzul Rizal Sutikno

Перевантаження дорожнього покриття стало серйозною проблемою в Індонезії через руйнівний вплив на систему дорожнього покриття, де більшість доріг використовують нежорстке покриття. Між тим, перевантаження також характерне для інших країн, що розвиваються, завдаючи шкоди учасникам та операторам дорожнього руху, починаючи від пошкоджень і закінчуючи дорожньо-транспортними пригодами. Поточна проблема полягає у відсутності певних знань про поводження з перевантаженими транспортними засобами, що призводить до негативних наслідків. Тому метою даного дослідження є визначення впливу втрат, спричинених перевантаженими транспортними засобами, на нежорстке дорожнє покриття.

У дослідженні використовуються дані про навантаження транспортних засобів для вивчення фактичних умов на місці, які перетворюються у значення навантаження на вісь для кожного транспортного засобу та використовуються для визначення стану дорожнього

покриття з використанням підходу з урахуванням коефіцієнта вантажного автомобіля, механістично-емпіричного проектування, рівності дорожнього покриття та впливу перевантаження через споживання палива транспортними засобами на нежорсткому дорожньому покритті.

Результати показують, що перевантажені транспортні засоби завдають шкоди нежорсткому дорожньому покриттю. Збільшення значень коефіцієнта вантажного автомобіля для всіх перевантажених транспортних засобів понад максимально допустиме навантаження призводить до більшого пошкодження нежорсткого дорожнього покриття зі збільшенням значень коефіцієнта вантажного автомобіля до 83 %. Вплив перевантаження може бути зменшений за рахунок збільшення товщини шару асфальту та модуля пружності асфальту, тому важливо звертати увагу на якість асфальту з урахуванням перевантаження. Для запобігання перевантаження було виявлено, що товщина верхнього шару асфальту в діапазоні 170–205 мм дозволяє пом'якшити цей негативний вплив. Крім того, перевантаження впливає на рівність нежорсткого дорожнього покриття та витрату палива транспортними засобами. Збільшення рівності та витрати палива призводить до збільшення витрат на утримання доріг, а також впливає на комфорт і безпеку руху. Крім того, перевитрата палива може призвести до забруднення навколишнього середовища.

**Ключові слова:** нежорсткий дорожній одяг, механістично-емпіричне проектування дорожнього покриття, перевантаження, коефіцієнт вантажного автомобіля, перевитрата палива.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302833

### РОЗРОБЛЕННЯ ВДОСКОНАЛЕНОЇ МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ОПОРНОЇ ПРОХІДНОСТІ ПОВНОПРИВІДНИХ АВТОМОБІЛІВ (с. 64–72)

М. Г. Грубель, Л. В. Крайник, М. С. Міхалева, В. Д. Залипка, М. О. Манзяк, В. В. Хома, О. В. Ланець, Д. П. Рубан, А. М. Андрієнко, В. Ф. Кохан

Об'єктом дослідження є прохідність повнопривідних автомобілів в умовах бездоріжжя.

За результатами аналізу відомих досліджень визначено, що у країнах-членах НАТО застосовують методики експериментальної оцінки несної здатності опорних поверхонь (ОП), що ґрунтується на використанні конусного індексу (Cone index). Вони враховують характеристики поверхні театру бойових дій та дозволяють за допомогою стандартизованого програмного комп'ютерного забезпечення визначати орієнтовні швидкості руху повнопривідних автомобілів. У методиках оцінки несної здатності ОП, які застосовують модуль деформації ґрунту E, відсутня можливість розрахункового визначення швидкості автомобіля при відомих навантаженнях на осі. Крім того, вони передбачають визначення ще ряду параметрів опорної поверхні, таких як коефіцієнт зчеплення, кут внутрішнього тертя в ґрунті та модуль зсуву при утворенні колії. Це робить їх значно складнішими в порівнянні з методиками, що використовуються в НАТО. Тому проблема, яка вирішується в даній роботі, полягає в удосконаленні методики оцінки опорної прохідності повнопривідних автомобілів.

Ґрунтуючись на результатах проведених наукових досліджень, опрацьовано моделювання руху у середовищі MATLAB Simulink, для визначення параметрів опорної прохідності повнопривідних автомобілів.

З метою визначення прохідності зразків колісної військової автомобільної техніки (ВАТ) за показником максимального значення тиску (англ. Mean measure pressure MMP) проаналізовано проведені експериментальні дослідження. Вони показали різницю в швидкісних режимах руху автомобілів однакої повної маси, але різних компоувальних схем, у межах 11–12 %. Тому, методику оцінки прохідності за MMP удосконалено для врахування особливостей компоновки зразків колісної ВАТ. Зокрема з урахуванням різних значень навантажень на передню вісь автомобілів безкапотної та капотної компоновок при однаковій повній масі.

Загалом вдосконалена методика дозволяє дати кількісну оцінку мобільності руху зразків ВАТ різних компоувальних схем та оцінку їх потенційної прохідності на базі запропонованого уточнення розрахунку MMP.

**Ключові слова:** несна здатність ґрунту, імітаційне моделювання руху, опорна прохідність автомобіля, визначення конусного індексу, оцінка прохідності згідно з MMP.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.301542

### ПОКРАЩЕННЯ ВИВЧЕННЯ ТЕХНІКИ ВНУТРІШНЬОЇ ІНСПЕКЦІЇ ВИГИНІВ ТРУБОПРОВОДІВ У СТРАТЕГІЇ УПРАВЛІННЯ ЦІЛІСНІСТЮ ТРУБОПРОВОДІВ (с. 73–82)

Dony Soelistiyono, Johny Wahyuadi Soedarsono, Badrul Munir, Michael Oktavianes, Agus Paul Setiawan Kaban, Sidhi Aribowo, Dedy Iskandar

У цій роботі повідомляється про розробку методології інспекційного контролю (ІК) для підвищення ефективності очищення пом'ятих трубопроводів, полегшення процесу очищення трубопроводів, щоб запобігти застряганню контрольного манометра (КМ) і покращити безпечний прохід для трубопроводів зі скручуванням. Нещодавній звіт розкриває стан трубопроводів, що неможливо проінспектувати та які зменшують внутрішній діаметр трубопроводів до 257,51 мм, що еквівалентно 27,58 % від початкового діаметра, і обмежують очищення. У цьому дослідженні було проведено випробування на протягування в поєднанні з випробуванням на згинання. Успіх вищезазначеного випробування дозволяє обладнанню ІК, заснованому на методі витoku магнітного потоку (ВМП), реєструвати втрату внутрішньої та зовнішньої стінки всередині та геометричний дефект діаметра трубопроводів. Підготовлений штучний м'ятий трубопровід був виготовлений перед тим, як пройти кілька випробувань. Виходячи з випробування на протягування, максимальна сила 27000 Н є більшою, ніж робочий тиск трубопроводу, щоб дозволити інструменту ВМП проходити через трубопроводи, незважаючи на демонстрацію аномалії геометрії. Стиснення протилежного магнітного ярма під час випробування на розбірність є критичним, показуючи, що інструмент ІК ВМП досягає максимального стиснення 242 мм. Значення нижче мінімального внутрішнього діаметра 257 мм. Результати ІК показують, що найвища втрата металу була досягнута на рівні 73 % на глибині 15504 м на дні перевірених трубопроводів. Водночас площа вм'ятин зменшується до більш ніж 6 % від номінального зовнішнього діаметра трубопроводів і надає статус цілісності труби червоного рівня. Відмінний результат дослідження може бути використаний для моделювання майбутнього безпрецедентного процесу очищення, коли вигини з'являються в трубопроводах.

**Ключові слова:** управління цілісністю трубопроводу, перевірка внутрішньої та зовнішньої корозії, випробування на протягування, випробування на розбірність, цілісність активів, вм'ятини трубопроводу.