

ABSTRACT AND REFERENCES

APPLIED MECHANICS

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.209228

STABILITY AND RATIONAL DESIGN OF THE «BARREL-OGIVE» TYPE STRENGTHENED SHELL STRUCTURES UNDER COMBINED LOADING (p. 6-15)**Viktor Gristchak**

Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8685-3191>**Dmitry Hryshchak**

Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7382-5201>**Nataliia Dyachenko**

Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5284-4502>**Pavlo Degtiarenko**

Yuzhnoye Design Office, Dnipro, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7514-5712>

This paper reports a study into the stability of a shell structure of the barrel-ogive type, supported by the discretely arranged intermediate frames, under the joint action of the uniform external pressure and axial compressive efforts.

A case of the sinusoidal approximation of the meridian of the middle surface of shell compartments has been considered.

Governing differential equations have been built to study the stability of a compound shell structure taking into consideration the curvature radii of the “barrel” and “ogive” compartments under the joint action of axial compression and uniform external pressure. A finite difference method has been used to integrate the fourth-order governing equations with variable coefficients. It is shown that an increase in the meridian curvature parameter exceeding 4 % leads, in some cases that involve the loading by axial forces, to an increase in the critical external pressure by 1.5–2 times.

The effect of stabilizing the growth of critical pressure with an increase in the rigidity of the frames is illustrated for the different values of the meridian curvature and the number of supporting elements. A given effect makes it possible to draw conclusions about the possibility of determining the rational rigidity characteristics of the structure.

The effect of increasing critical pressure in the presence of a compressive force in the shells of the positive Gauss curvature, which is the result of internal stretching efforts in the circumference direction, has been investigated. In this case, a generatrix deviation from the ideal shape leads to an increase in wavenumbers in the circumferential direction while the stability is lost, which indicates an increase in the critical pressure. A further increase in the axial compression of the structure leads to the emergence of annular compressive efforts, which is a consequence of the reduction in the critical stresses of external pressure.

Keywords: shell, barrel-ogive structure, external pressure, axial compression, intermediate frames.

References

1. Bai, X., Tang, R., Zan, Y., Li, J. (2019). Stability analysis of a cylindrical shell with axially symmetric defects under axial compression based on the reduction stiffness method. *Ocean Engineering*, 193, 106584. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106584>

2. Bai, X., Xu, W., Ren, H., Li, J. (2017). Analysis of the influence of stiffness reduction on the load carrying capacity of ring-stiffened cylindrical shell. *Ocean Engineering*, 135, 52–62. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.02.034>
3. Tafreshi, A., Bailey, C. G. (2007). Instability of imperfect composite cylindrical shells under combined loading. *Composite Structures*, 80(1), 49–64. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2006.02.031>
4. Teng, J. G., Barbagallo, M. (1997). Shell restraint to ring buckling at cone-cylinder intersections. *Engineering Structures*, 19 (6), 425–431. doi: [https://doi.org/10.1016/s0141-0296\(96\)00087-9](https://doi.org/10.1016/s0141-0296(96)00087-9)
5. Schmidt, H. (2018). Two decades of research on the stability of steel shell structures at the University of Essen (1985–2005): Experiments, evaluations, and impact on design standards. *Advances in Structural Engineering*, 21 (16), 2364–2392. doi: <https://doi.org/10.1177/1369433218756273>
6. Zhao, Y., Teng, J. G. (2003). A stability design proposal for cone-cylinder intersections under internal pressure. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 80 (5), 297–309. doi: [https://doi.org/10.1016/s0308-0161\(03\)00048-6](https://doi.org/10.1016/s0308-0161(03)00048-6)
7. Iqbal, M. A., Tiwari, G., Gupta, P. K. (2016). Energy dissipation in thin metallic shells under projectile impact. *European Journal of Mechanics - A/Solids*, 59, 37–57. doi: <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2016.03.004>
8. Amabili, M. (2018). Nonlinear vibrations and stability of laminated shells using a modified first-order shear deformation theory. *European Journal of Mechanics - A/Solids*, 68, 75–87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2017.11.005>
9. Akimov, D. V., Gryshchak, V. Z., Gomenyuk, S. I., Larionov, I. F., Klimenko, D. V., Sirenko, V. N. (2016). Finite-Element Analysis and Experimental Investigation on the Strength of a Three-Layer Honeycomb Sandwich Structure of the Spacecraft Adapter Module. *Strength of Materials*, 48 (3), 379–383. doi: <https://doi.org/10.1007/s11223-016-9775-y>
10. Degtyarenko, P. G., Grishchak, V. Z., Grishchak, D. D., Dyachenko, N. M. (2019). To equistability problem of the reinforced shell structure under combined loading. *Space Science and Technology*, 25 (6 (121)), 3–14. doi: <https://doi.org/10.15407/knit2019.06.003>
11. Degtyarev, M. A., Shapoval, A. V., Gusev, V. V., Avramov, K. V., Sirenko, V. N. (2019). Structural Optimization of Waffle Shell Sections in Launch Vehicles. *Strength of Materials*, 51 (2), 223–230. doi: <https://doi.org/10.1007/s11223-019-00068-7>
12. Degtyarenko, P. G., Gristchak, V. Z., Gristchak, D. D., Dyachenko, N. M. (2020). Statement and basic solution equations of the stability problem for the shell-designed type “barrel-revived” under external pressure. *Problems of Computational Mechanics and Strength of Structures*, 1 (30), 33–52. doi: <https://doi.org/10.15421/4219025>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.201073

ANALYTICAL SOLUTION TO THE PROBLEM ABOUT FREE OSCILLATIONS OF A RIGIDLY CLAMPED CIRCULAR PLATE OF VARIABLE THICKNESS (p. 16-23)**Kirill Trapezon**

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5873-9519>

Alexandr Trapezon

G. S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8567-9854>

This paper reports an analytical solution to one of the problems related to applied mechanics and acoustics, which tackles the analysis of free axisymmetric bending oscillations of a circular plate of variable thickness. A plate rigidly-fixed along the contour has been considered, whose thickness changes by parabola $h(\rho)=H_0(1+\mu\rho)^2$. For the initial assessment of the effect exerted by coefficient μ on the results, the solutions at $\mu=0$ and some $\mu\neq 0$ have been investigated. The differential equation of the shapes of a variable-thickness plate's natural oscillations, set by the $h(\rho)$ function, has been solved by a combination of factorization and symmetry methods. First, a problem on the oscillations of a rigidly-fixed plate of the constant thickness ($\mu=0$), in which $h(1)/h(0)=\eta=1$, was solved. The result was the computed natural frequencies (numbers λ_i at $i=1\dots 6$), the constructed oscillation shapes, as well as the determined coordinates of the nodes and antinodes of oscillations. Next, a problem was considered about the oscillations of a variable-thickness plate at $\eta=2$, which corresponds to $\mu=0.4142$. Owing to the symmetry method, an analytical solution and a frequency equation for $\eta=2$ were obtained when the contour is rigidly clamped. Similarly to $\eta=1$, the natural frequencies were calculated, the oscillation shapes were constructed, and the coordinates of nodes and antinodes of oscillations were determined. Mutual comparison of frequencies (numbers λ_i) shows that the natural frequencies at $\eta=2$ for $i=1\dots 6$ increase significantly by (28...19.9) % compared to the case when $\eta=1$. The increase in frequencies is a consequence of the increase in the bending rigidity of the plate at $\eta=2$ because, in this case, the thickness in the center of both plates remains unchanged, and is equal to $h=H_0$. The reported graphic dependences of oscillation shapes make it possible to compare visually patterns in the distribution of nodes and antinodes for cases when $\eta=1$ and $\eta=2$. Using the estimation formulae derived from known ratios enabled the construction of the normalized diagrams of the radial σ_r and tangential σ_θ normal stresses at $\eta=1$ and $\eta=2$. Mutual comparison of stresses based on the magnitude and distribution character has been performed. Specifically, there was noted a more favorable distribution of radial stresses at $\eta=2$ in terms of strength and an increase in technical resource.

Keywords: natural frequencies, oscillation shapes, analytical solution, circular plate, free oscillations, symmetry method.

References

- Kulkarni, P., Dhoble, A., Padole, P. (2018). A review of research and recent trends in analysis of composite plates. *Sādhanā*, 43 (6). doi: <https://doi.org/10.1007/s12046-018-0867-1>
- Cucinotta, F., Nigrelli, V., Sfravara, F. (2017). Numerical prediction of ventilated planing flat plates for the design of Air Cavity Ships. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 12 (2), 537–548. doi: <https://doi.org/10.1007/s12008-017-0396-x>
- Leissa, A. W. (1969). *Vibration of Plates*. NASA SP-160. United States, 362.
- Panovko, Ya. G. (1967). *Osnovy prikladnoy teorii uprugih kolebaniy*. Moscow: Mashinostroenie, 316.
- Bitseno, K. B., Grammel', R. (1952). *Tekhnicheskaya dinamika*. Vol. II. Moscow: GITTL, 638.
- Kovalenko, A. D. (1959). *Osnovy teorii kolebaniy i deformatsii*. Moscow: Fizmatgiz, 294.
- Babakov, I. M. (2004). *Teoriya kolebaniy*. Moscow: Drofa, 591.
- Trapezon, K. A. (2012). Method of symmetries at the vibrations of circular plates of variable thickness. *Electronics and Communications*, 6, 66–77. doi: <https://doi.org/10.20535/2312-1807.2012.17.6.11401>
- Golmakani, M. E., Emami, M. (2016). Buckling and large deflection behaviors of radially functionally graded ring-stiffened circular plates with various boundary conditions. *Applied Mathematics and Mechanics*, 37 (9), 1131–1152. doi: <https://doi.org/10.1007/s10483-016-2122-6>
- Chen, H., Wu, R., Xie, L., Du, J., Yi, L., Huang, B. et. al. (2020). High-frequency vibrations of circular and annular plates with the Mindlin plate theory. *Archive of Applied Mechanics*, 90 (5), 1025–1038. doi: <https://doi.org/10.1007/s00419-019-01654-6>
- Ukrainskii, D. V. (2018). On the Type of Flexural Edge Wave on a Circular Plate. *Mechanics of Solids*, 53 (5), 501–509. doi: <https://doi.org/10.3103/s0025654418080046>
- Zhang, J. H., Liu, X., Zhao, X. (2019). Symplectic Method-Based Analysis of Axisymmetric Dynamic Thermal Buckling of Functionally Graded Circular Plates. *Mechanics of Composite Materials*, 55 (4), 455–466. doi: <https://doi.org/10.1007/s11029-019-09825-w>
- Van Do, V. N., Lee, C.-H. (2018). Nonlinear thermal buckling analyses of functionally graded circular plates using higher-order shear deformation theory with a new transverse shear function and an enhanced mesh-free method. *Acta Mechanica*, 229 (9), 3787–3811. doi: <https://doi.org/10.1007/s00707-018-2190-7>
- Yang, Y., Zhang, Y., Chen, W., Yang, B. (2018). On asymmetric bending of functionally graded solid circular plates. *Applied Mathematics and Mechanics*, 39 (6), 767–782. doi: <https://doi.org/10.1007/s10483-018-2337-7>
- Yuan, J., Chen, W. (2017). Exact solutions for axisymmetric flexural free vibrations of inhomogeneous circular Mindlin plates with variable thickness. *Applied Mathematics and Mechanics*, 38 (4), 505–526. doi: <https://doi.org/10.1007/s10483-017-2187-6>
- Trapezon, K. A. (2006). The symmetry method in calculating and designing of acoustic thickeners. *Akusticheskiy vestnik*, 9 (4), 50–55.
- Tymoshenko, S., Voyniv's'kyi-Kriher, S. (1959). *Theory of Plates and Shells*. New York: McGraw-Hill, 416.
- Trapezon, K. A. (2015). Variant of method of symmetries in a task about the vibrations of circular plate with a decreasing thickness by law of concave parabola. *Electronics and Communications*, 20 (2 (85)), 90–99. doi: <https://doi.org/10.20535/2312-1807.2015.20.2.47781>
- Kornilov, A. A. (1968). Kolebaniya kol'tsevoy plastiny peremennoy tolschiny proizvol'nogo profilya s uchetom inertsii vrascheniya i deformatsii sdviga. *Vestnik KPI. Seriya: Mashinostroenie*, 8, 62–68.
- Trapezon, A. G. (1983). *Raschet uprugih elementov pri rezonansnyh ustalostnyh ispytaniyah*. Kyiv: Naukova dumka, 96.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.208940

ANALYSIS OF THE BEARING CAPACITY OF AN ADHESIVE CONNECTION BETWEEN A CELLULAR FILLER AND SHEATHING AT THE ADDRESSED APPLICATION OF THE ADHESIVE ONTO THE ENDS OF HONEYCOMBS (p. 24-32)

Andrii Kondratiev

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8101-1961>

Oksana Prontsevych

Yuzhnoye Design Office, Dnipro, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2013-2620>

Reducing the surface mass of an adhesive is one of the most important means to improve the perfection of cellular structures. One of the promising technologies in this respect is the addressed application of the adhesive on the ends of the cells. This technology excludes the passive mass of the glue that fills the intercellular surface, which is not involved in ensuring the bearing capability of the adhesive connection. However, a decrease in the glue application leads to a decrease in the bearing capability of a product. Therefore, reliable estimation methods are required to determine the bearing capability of such structures under the conditions of detaching the sheathing prior to experimental test.

This work determines a mechanism of destruction of cellular structures under transversal loading depending on their parameters and factors of the technological process of addresses gluing. We have devised a method to analyze the bearing capability of the adhesive connection between a cellular filler and the carrying sheathing at the addressed glue application on the ends of the honeycombs. The method makes it possible to predict the character of their destruction depending on the relative depth of the penetration of the flange facets of a cellular filler into the melt adhesive. A modified mathematical model of the adhesive fillet has been synthesized, which takes into consideration the heterogeneity of glued materials and the existence of a gap between the ends of the facets of honeycombs and the bearing sheathing. A finite element method was used to obtain a rather complicated character of stress distribution in the zone of an adhesive fillet cross-section. We have drawn a practical conclusion that it is necessary to glue the sandwich structures of the examined type at a temperature and pressure that ensure the relative depth of the penetration of honeycombs' ends into the adhesive exceeding 50 %. Such technological parameters at the modern level of production of cellular products would help increase their weight perfection and achieve a certain economy of energy resources, used in the process of assembling-gluing the structures of the examined type.

Keywords: sandwich structures, cellular filler, bearing capacity, adhesive connection, melt adhesive, addressed application, fillet.

References

- Nunes, J. P., Silva, J. F. (2016). Sandwiched composites in aerospace engineering. *Advanced Composite Materials for Aerospace Engineering*, 129–174. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100037-3.00005-5>
- Slyvynskiy, V., Gajdachuk, V. E., Kyrychenko, V. V., Kondratiev, A. V. (2011). Basic parameters' optimization concept for composite nose fairings of launchers. *62nd International Astronautical Congress, IAC 2011*. Vol. 9. Cape Town, 5701–5710.
- Fomin, O., Lovska, A., Kulbovskiy, I., Holub, H., Kozarchuk, I., Kharuta, V. (2019). Determining the dynamic loading on a semi-wagon when fixing it with a viscous coupling to a ferry deck. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (98)), 6–12. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160456>
- Gaidachuk, V. E., Kondratiev, A. V., Chesnokov, A. V. (2017). Changes in the Thermal and Dimensional Stability of the Structure of a Polymer Composite After Carbonization. *Mechanics of Composite Materials*, 52 (6), 799–806. doi: <https://doi.org/10.1007/s11029-017-9631-6>
- Slyvynskiy, V. I., Sanin, A. F., Kharchenko, M. E., Kondratiev, A. V. (2014). Thermally and dimensionally stable structures of carbon-carbon laminated composites for space applications. *65th International Astronautical Congress*. Vol. 8. Toronto, Canada, 5739–5751.
- Fomin, O., Logvinenko, O., Burlutsky, O., Rybin, A. (2018). Scientific Substantiation of Thermal Leveling for Deformations in the Car Structure. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.3), 125. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19721>
- Astrom, B. T.; Virson, J. R. (Ed.) (1999). *Sandwich Manufacturing: Past, Present and Future*. Stockholm, 198.
- Panin, V. F., Gladkov, Yu. A. (1991). *Konstruktzii s zapolnitelem*. Moscow: Mashinostroenie, 272.
- Kondratiev, A., Gaidachuk, V. (2019). Weight-based optimization of sandwich shelled composite structures with a honeycomb filler. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (1 (97)), 24–33. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154928>
- Ivanov, A. A., Kashin, S. M., Semenov, V. I. (2000). *Novoe pokolenie sotovyh zapolniteley dlya aviatsionno-kosmicheskoy tehniki*. Moscow: Energoatomizdat, 436.
- Herrmann, A. S.; Virson, J. R. (Ed.) (1999). *Design and Manufacture of Monolithic Sandwich Structures with Cellular Cores*. Stockholm, 274.
- Slyvyn'skyy, V., Slyvyn'skyy, M., Gajdachuk, A., Gajdachuk, V., Melnikov, S., Slyvyn'ska, N., Kirichenko, V. (2007). Technological possibilities for increasing quality of honeycomb cores used in aerospace engineering. *58th International Astronautical Congress 2007 Hyderabad*.
- Kondratiev, A., Prontsevych, O. (2018). Stabilization of physical-mechanical characteristics of honeycomb filler based on the adjustment of technological techniques for its fabrication. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (95)), 71–77. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.143674>
- Slyvyn'skyy, V. I., Gajdachuk, V. E., Gajdachuk, A. V., Slyvyn'ska, N. E. (2005). Weight optimization of honeycomb structures for space applications. *56th International Astronautical Congress of the International Astronautical Federation, the International Academy of Astronautics, and the International Institute of Space Law*. doi: <https://doi.org/10.2514/6.iac-05-c2.3.07>
- Slyvyn'skyy, V., Slyvyn'skyy, M., Polyakov, N., Gajdachuk, A., Gajdachuk, V., Kirichenko, V. (2008). Scientific fundamentals of efficient adhesive joint in honeycomb structures for aerospace applications. *59th International Astronautical Congress 2008*.
- Slivinsky, M., Slivinsky, V., Gajdachuk, V., Gajdachuk, A., Kirichenko, V. (2004). New Possibilities of Creating Efficient Honeycomb Structures for Rockets and Spacecrafts. *55th International Astronautical Congress of the International Astronautical Federation, the International Academy of Astronautics, and the International Institute of Space Law*. doi: <https://doi.org/10.2514/6.iac-04-i.3.a.10>
- Huang, S.-J., Lin, H.-L., Liu, H.-W. (2007). Electronic speckle pattern interferometry applied to the displacement measurement of sandwich plates with two "fully potted" inserts. *Composite Structures*, 79 (2), 157–162. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2005.07.008>
- Shah, V. (2006). *Handbook of Plastics Testing and Failure Analysis*. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/0470100427>
- Rion, J., Leterrier, Y., Manson, J.-A. E. (2008). Prediction of the adhesive fillet size for skin to honeycomb core bonding in ultra-light sandwich structures. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39 (9), 1547–1555. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2008.05.022>
- D'Ottavio, M., Dozio, L., Vescovini, R., Polit, O. (2016). Bending analysis of composite laminated and sandwich structures using sublaminated variable-kinematic Ritz models. *Composite*

- Structures, 155, 45–62. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.07.036>
21. An, H., Chen, S., Huang, H. (2016). Optimal design of composite sandwich structures by considering multiple structure cases. *Composite Structures*, 152, 676–686. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.05.066>
 22. Huang, S. J., Chiu, L. W. (2008). Modeling of Structural Sandwich Plates with ‘Through-the-Thickness’ Inserts: Five-Layer Theory. *Computer Modeling in Engineering and Sciences*, 34 (1), 1–32. doi: <https://doi.org/10.3970/cmesc.2008.034.001>
 23. Huang, S.-J. (2002). Mathematical modeling of the stress-strain state of adhesive layers in sandwich structures. *Mechanics of Composite Materials*, 38 (2), 103–120. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1014925325217>
 24. Ogurek, O. N., Starikov, L. M., Bondar, V. G. (1977). O vybore parametrov kleya dlya sotovyh konstruksiy. *Voprosy optimizatsii tonkostennyh silovyh konstruksiy*, 3, 73–79.
 25. Gajdachuk, V. E., Karpikova, O. A., Kyrychenko, V. V., Kondratyev, A. V. (2012). Dependence of carrying capacity of cellular structures at transversally break from gluing technology cladding with filler. *Aviatsionno-kosmicheskaya tehnika i tehnologiya*, 2 (89), 5–17.
 26. Kondratiev, A., Gaidachuk, V., Nabokina, T., Tsaritsynskiy, A. (2020). New Possibilities of Creating the Efficient Dimensionally Stable Composite Honeycomb Structures for Space Applications. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 45–59. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-37618-5_5
 27. Aronovvich, D. A., Varlamov, V. P., Voytovich, V. A., Gladkih, S. N., Kalinchev, V. A., Malysheva, G. V. et. al.; Malysheva, G. V. (Ed.) (2005). *Skleivanie v mashinostroenii*. Moscow: Nauka i tehnologiya, 544.
 28. Beer, F. P. (2009). *Mechanics of materials*. McGraw-Hill, 790.
 29. Sypeck, D. J. (2005). Wrought aluminum truss core sandwich structures. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 36 (1), 125–131. doi: <https://doi.org/10.1007/s11663-005-0012-5>
 30. Aluminum Foil for Sandwich Construction. *Aerospace Material Specification AMSA 81596A* doi: <https://doi.org/10.4271/amsa81596a>
 31. Roy, R., Park, S.-J., Kweon, J.-H., Choi, J.-H. (2014). Characterization of Nomex honeycomb core constituent material mechanical properties. *Composite Structures*, 117, 255–266. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2014.06.033>
 32. Kondratiev, A., Slivinsky, M. (2018). Method for determining the thickness of a binder layer at its non-uniform mass transfer inside the channel of a honeycomb filler made from polymeric paper. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (5 (96)), 42–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.150387>
 33. Mackerle, J. (2002). Finite element analyses of sandwich structures: a bibliography (1980–2001). *Engineering Computations*, 19 (2), 206–245. doi: <https://doi.org/10.1108/02644400210419067>

DOI: [10.15587/1729-4061.2020.208407](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208407)

DETERMINING THE DYNAMIC LOADING AND STRENGTH OF THE BEARING STRUCTURE OF A COVERED WAGON WHEN FIRING FROM IT (p. 33-41)

Oleksij Fomin

State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2387-9946>

Alyona Lovska

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8604-1764>

Viktoria Kudelya

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0331-0018>

Iryna Smyrnova

Danube Institute of the National University “Odesa Maritime Academy”, Izmail, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2085-5391>

The bearing structure of a covered rail wagon has been improved to enable firing from it at motion. The covered wagon of model 11–217 was chosen as a prototype. To enable firing in the vertical plane, it has been proposed to use a sliding roof, which consists of shutters that move by means of a pneumatic or hydraulic drive. To accommodate military equipment inside the covered wagon, its frame is equipped with supporting sectors.

Mathematical modeling was performed in order to determine the dynamic load on a covered rail wagon when firing from it. The mathematical model was solved in the Mathcad software package. We have established the dependence of the accelerations of the bearing structure of a covered rail wagon on the recoil force induced by the combat equipment that it hosts. It has been found that in order to maintain the dynamics indicators within acceptable limits, combat equipment should have a maximum recoil at a shot of about 3.2 kN. The maximum accelerations that act on the bearing structure of a covered wagon in a vertical plane are about 6 m/s^2 . In the zones of interaction between the body and bogies, the maximum accelerations are about 9.5 m/s^2 and the accelerations of bogies are 10 m/s^2 . To reduce the dynamic load on the bearing structure of a covered rail wagon, it has been proposed to use a viscous connection between the supporting sectors and frame. We have determined the dependence of accelerations on the coefficient of viscous resistance between the supporting sectors and the bearing structure of a wagon. It has been established that taking into consideration the use of a viscous connection between the supporting sectors and frame makes it possible to reduce the dynamic load on a wagon at least by 15 %. The basic indicators of strength for the bearing structure of a covered rail wagon when firing from it have been determined. We have derived the dependence of the maximum equivalent stresses in the bearing structure of a covered wagon on the recoil force of combat equipment. The maximum equivalent stresses at a recoil force of 3.2 kN arise in the console part of the girder of a covered wagon and are about 300 MPa. The maximum displacements were registered in the area where the front stops of the auto-coupling are arranged; they are equal to 2.9 mm. The maximum deformations amounted to $6.98 \cdot 10^{-3}$.

Modal analysis of the bearing structures of a covered rail wagon has been carried out. It has been determined that the values of the oscillation natural frequencies are within the permissible limits.

Our study will contribute to the construction of innovative rolling stock for the transportation of military equipment and for firing at motion.

Keywords: covered wagon, bearing structure, dynamic load, structural strength, modal analysis, transport mechanics.

References

1. Lee, W. G., Kim, J.-S., Sun, S.-J., Lim, J.-Y. (2016). The next generation material for lightweight railway car body structures: Magnesium alloys. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 232 (1), 25–42. doi: <https://doi.org/10.1177/0954409716646140>

2. Ulianov, C., Önder, A., Peng, Q. (2018). Analysis and selection of materials for the design of lightweight railway vehicles. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 292, 012072. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/292/1/012072>
3. Wiesław, K., Tadeusz, N., Michał, S. (2016). Innovative Project of Prototype Railway Wagon and Intermodal Transport System. Transportation Research Procedia, 14, 615–624. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.307>
4. Niezgoda, T., Krasoń, W., Stankiewicz, M. (2015). Simulations of motion of prototype railway wagon with rotatable loading floor carried out in MSC Adams software. Journal of KONES. Powertrain and Transport, 19 (4), 495–502. doi: <https://doi.org/10.5604/12314005.1138622>
5. Sepe, R., Pozzi, A. (2015). Static and modal numerical analyses for the roof structure of a railway freight refrigerated car. Frattura Ed Integrità Strutturale, 9 (33), 451–462. doi: <https://doi.org/10.3221/igf-esis.33.50>
6. Myamlin, S. V., Murashova, N. G., Kebal, I. Yu., Kazhkenov, A. Z. (2015). Sovershenstvovanie konstruktsii krytykh vagonov. Vagonniy park, 7-8 (100-101), 4–8. Available at: <http://eadnurt.diit.edu.ua/bitstream/123456789/4698/1/Myamlin.pdf>
7. Lee, H.-A., Jung, S.-B., Jang, H.-H., Shin, D.-H., Lee, J. U., Kim, K. W., Park, G.-J. (2015). Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 230 (4), 1283–1296. doi: <https://doi.org/10.1177/0954409715593971>
8. Shukla, C. P., Bharti, P. K. (2015). Study and Analysis of Doors of BCNHL Wagons. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 4 (04), 1195–1200. doi: <https://doi.org/10.17577/ijertv4is041031>
9. Kir'yanov, D. V. (2006). Mathcad 13. Sankt-Peterburg: BHV. Peterburg, 608.
10. D'yakov, V. (2000). MATHCAD 8/2000: spetsial'niy spravochnik. Sankt-Peterburg: Piter, 592.
11. Fomin, O., Lovska, A., Pistek, V., Kucera, P. (2020). Research of stability of containers in the combined trains during transportation by railroad ferry. MM Science Journal, 2020 (1), 3728–3733. doi: https://doi.org/10.17973/mmsj.2020_03_2019043
12. Tkachenko, V., Saponova, S., Kulbovskiy, I., Fomin, O. (2017). Research into resistance to the motion of railroad undercarriages related to directing the wheelsets by a rail track. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (7 (89)), 65–72. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109791>
13. Lovskaya, A., Ryibin, A. (2016). The study of dynamic load on a wagon–platform at a shunting collision. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (7 (81)), 4–8. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.72054>
14. Kondratiev, A. V., Gaidachuk, V. E., Kharchenko, M. E. (2019). Relationships Between the Ultimate Strengths of Polymer Composites in Static Bending, Compression, and Tension. Mechanics of Composite Materials, 55 (2), 259–266. doi: <https://doi.org/10.1007/s11029-019-09808-x>
15. Alyamovskiy, A. A. (2007). SolidWorks/COSMOSWorks 2006–2007. Inzhenerniy analiz metodom konechnykh elementov. Moscow, 784.
16. Alyamovskiy, A. A. (2010). COSMOSWorks. Osnovy rascheta konstruktsiy na prochnost' v srede SolidWorks. Moscow, 785.
17. Fomin, O., Lovska, A., Kulbovskiy, I., Holub, H., Kozarchuk, I., Kharuta, V. (2019). Determining the dynamic loading on a semi-wagon when fixing it with a viscous coupling to a ferry deck. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (7 (98)), 6–12. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160456>
18. Vatulia, G., Falendysh, A., Orel, Y., Pavliuchenkov, M. (2017). Structural Improvements in a Tank Wagon with Modern Software Packages. Procedia Engineering, 187, 301–307. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.379>
19. Kitov, Y., Verevicheva, M., Vatulia, G., Orel, Y., Deryzemlia, S. (2017). Design solutions for structures with optimal internal stress distribution. MATEC Web of Conferences, 133, 03001. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713303001>
20. Lovska, A., Fomin, O., Pištěk, V., Kučera, P. (2019). Dynamic load computational modelling of containers placed on a flat wagon at railroad ferry transportation. Vibroengineering PROCEDIA, 29, 118–123. doi: <https://doi.org/10.21595/vp.2019.21132>
21. Domin, Yu. V., Cherniak, H. Yu. (2003). Osnovy dynamiky vahoniv. Kyiv: KUETT, 269.
22. DSTU 7598:2014. Vahony vantazhni. Zahalni vymohy do rozrakhunkiv ta proektuvannia novykh i modernizovanykh vahoniv koliyi 1520 mm (nesamokhidnykh) (2015). Kyiv, 162.
23. GOST 33211-2014. Freight wagons. Requirements to structural strength and dynamic qualities (2016). Moscow, 54. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200121493>
24. EN 12663-2. Railway applications - structural requirements of railway vehicle bodies - Part 2: Freight wagons (2010).
25. Kučera, P., Pištěk, V. (2017). Testing of the mechatronic robotic system of the differential lock control on a truck. International Journal of Advanced Robotic Systems, 14 (5), 172988141773689. doi: <https://doi.org/10.1177/1729881417736897>
26. Fomin, O., Gerlici, J., Lovskaya, A., Kravchenko, K., Prokopenko, P., Fomina, A., Hauser, V. (2018). Research of the strength of the bearing structure of the flat wagon body from round pipes during transportation on the railway ferry. MATEC Web of Conferences, 235, 00003. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823500003>
27. Fomin, O., Lovska, A., Radkevych, V., Horban, A., Skliarenko, I., Gurenkova, O. (2019). The dynamic loading analysis of containers placed on a flat wagon during shunting collisions. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 14 (21), 3747–3752. Available at: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2019/jeas_1119_7989.pdf
28. Fomin, O., Lovska, A., Melnychenko, O., Shpylovyi, I., Masliyev, V., Bambura, O., Klymenko, M. (2019). Determination of dynamic load features of tank containers when transported by rail ferry. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (7 (101)), 19–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.177311>
29. Kliuiev, S. (2018). Experimental study of the method of locomotive wheelrail angle of attack control using acoustic emission. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (9 (92)), 69–75. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.122131>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.209378

STUDY OF STRENGTH, DEFORMABILITY PROPERTY AND CRACK RESISTANCE OF BEAMS WITH BFRP

(p. 42-53)

Vasyl Karpiuk

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Odessa, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4088-6489>

Alina Tselikova

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Odessa, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1394-3986>

Artur Khudobych

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Odessa, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5336-599X>

Irina Karpiuk

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Odessa, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3437-5882>

Anatoly Kostyuk

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Odessa, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5642-2443>

Experimental data of strength, deformability, and crack resistance of 2,000×200×100 mm reinforced concrete and basalt-concrete beams are given. Longitudinal reinforcement consisted of 2 Ø14 A500C for reinforced concrete beams and 2 Ø14 BFRP (AKB800) for basalt-concrete beams. Transverse reinforcement consisted of 2 Ø3, 4, 5 BpI for reinforced concrete beams and 2 Ø4, 6, 8 BFRP (AKB800) for basalt-concrete beams. Beams were made of heavy concrete of C16/20, C30/35, and C40/50 classes. The experimental beam specimens were tested according to a four-point scheme as loosely supported beams loaded with two concentrated forces. Loading in the series of tests was stepwise increasing, static and low-cycle repeated at high levels of 0.50, 0.65, and 0.80F_{ult}. Distance from supports to concentrated forces (shear span), a/h₀, varied within 1, 2, 3. Experimental beam specimens were made and tested according to the theory of experimental design according to the Box B4, optimal plan D. Comparative analysis of main performance parameters of reinforced concrete and basalt-concrete beams under the action of abovementioned loads was performed.

The necessity of these studies was determined by the unsatisfactory convergence of experimental and calculated values of bearing capacity of oblique sections of basalt-concrete beams determined according to existing standard methods.

The studies have established the influence of design factors and loading nature on basic parameters of the working capacity of basalt-concrete beam elements in a form of experimental-statistical dependences.

These results will form a basis for a physical model of resistance of oblique sections in such structures to external loads. The presented results will significantly supplement the existing database of the operation of beam basalt-concrete structures and will be used in the development of an analytical method for calculating strength, deformability, and crack resistance.

Keywords: basalt-plastic and steel reinforcement, bearing capacity, static and low-cycle loading.

References

- Frolov, N. P. (1980). *Stekloplastikovaya armatura i stekloplastbetonnye konstruktsii*. Moscow: Stroyinzdat, 104. Available at: <https://nano-sk.ru/kniga-stekloplastikovaya-armatura-i-stekloplastbetonnye-konstrukcii-n-p-frolov-m-strojizdat-1980/>
- Dolan, C. W., Hamilton, H. R., Bakis, C. E., Nanni, A. (2000). *Design Recommendations for Concrete Structures Prestressed with FRP Tendons*. Final Report. University of Wyoming. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/7e4a/66cb48f647c5a911762f8149997ecf531d70.pdf>
- Kuzevanov, D. V. (2012). *Nauchno-tekhnicheskiiy otchet «Konstruktsii s kompozitnoy nemetallicheskoj armaturoy. Obzor i analiz zarubezhnyh i otechestvennyh normativnyh dokumentov»*. Moscow. Available at: <http://fordwind.org/wiki/lib/exe/fetch.php?media=img:nka2012.pdf>
- Brik, V. B. (2003). *Advanced Concept Concrete Using Basalt Fiber/BF Composite Rebar Reinforcement*. Final Report for Highway-IDEA Project 86. Washington: Transportation Research Board. Available at: https://basalt.today/images/Advanced.cocept.concrete.basalt.fiber_basalttoday.pdf
- Fico, R., Prota, A., Manfredi, G. (2008). Assessment of Eurocode-like design equations for the shear capacity of FRP RC members. *Composites Part B: Engineering*, 39 (5), 792–806. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2007.10.007>
- Kompozitnaya armatura proizvodstva TG «Ekipazh». Available at: <https://docplayer.ru/33569383-Kompozitnaya-armatura-proizvodstva-tg-ekipazh-dokladchik-generalnyy-direktor-oreshkin-dmitriy-aleksandrovich.html>
- DSTU-N B V.2.6-185:2012. *Nastanova z proektuvannia ta vyhotovlennia betonnykh konstruktsiy z nemetalevoiu kompozytnoiu armaturoiu na osnovi bazalto – i sklorovinhu* (2012). Kyiv: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo – komunalnoho hospodarstva Ukrainy, 28. Available at: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_n_b_v_2_6_185/5-1-0-1173
- Rahmonov, A. D. (2015). *Prochnost', Zhestkost' i treschinostyokost' nerazreznyh betonnyh balok s kombinirovannym armirovaniem*. Kazan', 160. Available at: https://www.dissforall.com/_catalog/t8/_science/49/740361.html
- SNiP 52-01-2003. *Concrete and won concrete construction. Design requirements*. Svod pravil: SP 63.13330.2012. Moscow. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200095246>
- Koval, P. M., Hrymak, O. Y., Stoyanovich, S. V. (2018). Taking into account the action of low-cycle loads when calculating concrete beams reinforced by basalt-plastic reinforcement. *Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice*, 13, 37–45. doi: <https://doi.org/10.15802/bttrp2018/151432>
- Elavenil, S., Saravanan, S., Reddy, R. (2017). Investigation of structural members with basalt rebar reinforcement as an effective alternative of standard steel rebar. *Journal of Industrial pollution Control*, 33, 1422–1429. Available at: <http://www.icontrolpollution.com/articles/investigation-of-structural-members-with-basalt-rebar-reinforcement-as-an-effective-alternative-of-standard-steel-rebar.pdf>
- Serbescu, A., Guadagnini, M., Pilakoutas, K. (2015). Mechanical Characterization of Basalt FRP Rebars and Long-Term Strength Predictive Model. *Journal of Composites for Construction*, 19 (2), 04014037. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cc.1943-5614.0000497](https://doi.org/10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000497)
- Vincent, P., Ahmed, E., Benmokrane, B. (2013). Characterization of Basalt Fiber-Reinforced Polymer (BFRP) reinforcing bars for concrete structures. *Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering 2013*. Montreal, 4489–4498. Available at: <http://www.proceedings.com/25328.html>
- Li, L., Lu, J., Fang, S., Liu, F., Li, S. (2018). Flexural study of concrete beams with basalt fibre polymer bars. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings*, 171 (7), 505–516. doi: <https://doi.org/10.1680/jstbu.16.00204>
- Atutis, M., Valivonis, J., Atutis, E. (2018). Experimental study of concrete beams prestressed with basalt fiber reinforced polymers. Part I: Flexural behavior and serviceability. *Composite Structures*, 183, 114–123. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.01.081>
- Thorhallsson, E., Zhelyazov, T., Gunnarsson, A., Shape Bjornsson, J. T. (2015). Concrete beams reinforced with prestressed basalt bars. *Concrete – innovation and Design: fib Symposium Proceedings*. Copenhagen, 277–278.
- Zhu, H., Wu, G., Zhang, L., Zhang, J., Hui, D. (2014). Experimental study on the fire resistance of RC beams strengthened with near-surface-mounted high-Tg BFRP bars. *Composites Part B:*

- Engineering, 60, 680–687. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.01.011>
18. Hofmann, S., Graubner, C.-A., Proske, T. (2018). Load-bearing performance of concrete beams with basalt fibre reinforced polymer (BFRP) rebars. Proceedings of the 12th fib International PhD Symposium in Civil Engineering, Prague, 419–426. Available at: <https://www.fib-international.org/publications/fib-proceedings/proceedings-of-the-12th-i-fib-i-international-phd-symposium-in-civil-engineering-pdf-detail.html>
 19. Monaldo, E., Nerilli, F., Vairo, G. (2019). Basalt-based fiber-reinforced materials and structural applications in civil engineering. *Composite Structures*, 214, 246–263. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.02.002>
 20. Karpiuk, V. M., Syomina, Y. A., Antonova, D. V. (2019). Calculation Models of the Bearing Capacity of Span Reinforced Concrete Structure Support Zones. *Materials Science Forum*, 968, 209–226. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.968.209>
 21. Karpiuk, V., Somina, Y., Maistrenko, O. (2019). Engineering Method of Calculation of Beam Structures Inclined Sections Based on the Fatigue Fracture Model. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 135–144. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7_17
 22. Karpiuk, V. M., Somina, Yu. A., Kostyuk, A. I., Maistrenko, O. F. (2018). *Osoblyvosti napruzhenno-deformovanoho stanu irozrakhunku zilizobetonnykh konstruktсий za diyi tsyklichnoho navantazhennia vysokyykh rivniv*. Odessa: ODABA, 233. Available at: <http://mx.ogasa.org.ua/handle/123456789/7485>
 23. Voznesenskiy, V. A. (1981). *Statisticheskie metody planirovaniya eksperimenta v tekhniko-ekonomicheskikh issledovaniyah*. Moscow: Finansy i statistika, 263. Available at: <https://www.twirpx.com/file/788920/>
 24. Zalesov, A. S., Klimov, Yu. A. (1989). *Prochnost' zhelezobetonnykh konstruktсий pri deystvii poperechnykh sil*. Kyiv: Budivelnik, 107. Available at: http://books.totalarch.com/strength_of_reinforced_concrete_structures_under_the_action_of_transverse_forces
 25. Tomlinson, D., Fam, A. (2015). Performance of Concrete Beams Reinforced with Basalt FRP for Flexure and Shear. *Journal of Composites for Construction*, 19 (2), 04014036. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cc.1943-5614.0000491](https://doi.org/10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000491)
 26. Urbanski, M., Lapko, A., Garbacz, A. (2013). Investigation on Concrete Beams Reinforced with Basalt Rebars as an Effective Alternative of Conventional R/C Structures. *Procedia Engineering*, 57, 1183–1191. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.149>
 27. Lapko, A., Urbanski, M. (2015). Experimental and theoretical analysis of deflections of concrete beams reinforced with basalt rebar. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 15 (1), 223–230. doi: <https://doi.org/10.1016/j.acme.2014.03.008>
 28. Banibayat, P., Patnaik, A. (2015). Creep Rupture Performance of Basalt Fiber-Reinforced Polymer Bars. *Journal of Aerospace Engineering*, 28 (3), 04014074. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)as.1943-5525.0000391](https://doi.org/10.1061/(asce)as.1943-5525.0000391)
 29. Zhang, L., Sun, Y., Xiong, W. (2014). Experimental study on the flexural deflections of concrete beam reinforced with Basalt FRP bars. *Materials and Structures*, 48 (10), 3279–3293. doi: <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0398-0>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.209409

THE DEFORMATION DYNAMICS OF THE EXPERIMENTAL ADIT'S MATERIAL DURING A COAL DUST EXPLOSION (p. 54-62)

Viktor Kostenko

Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine
 ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8439-6564>

Yaroslav Liashok

Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine
 ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7643-8485>

Olena Zavialova

Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine
 ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2834-5900>

Serhii Pozdieiev

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Defense of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
 ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9085-0513>

Tetiana Kostenko

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Defense of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
 ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9426-8320>

The purpose of this paper is to improve the mechanism that forms an explosive environment within the workings' space from the accumulated coal dust, based on determining the dynamic deformations under the influence of an explosion in the material that contains the examined working. To simulate the dynamic changes in the stressed-deformed state of the rock mass with an experimental adit inside when under the impact of explosive loads, a modern method of finite differences of mathematical-computer modeling has been used. During the research, the mathematical model has been adapted for studying the stressed-strained state of the rock mass that hosts the created experimental adit at the imitation of a dust blast. Additionally, the model takes into consideration the peculiarities of the direct impact of explosion products on the working's wall, as well as their indirect action. The data were acquired on the propagation of the progressive front of seismic waves inside mining rocks that host the experimental working. The parameters of speed and acceleration of the seismic wave components have been established that occur ahead of the shock front, which moves in the gas environment of a mining working during the explosion of a dust-air mixture.

This paper reports data on the dynamic processes occurring in a mining massif and on the surface of the experimental working at the chain explosion of a dust-air mixture. The simulation results have made it possible to confirm the hypothesis about the loosening of dust accumulations under the influence of seismic waves, which emerge significantly ahead of the explosion front moving along the working. The modeling results provide an opportunity to improve the systems of protection or localization of the dust-air or dust-gas-air explosions. The existence of seismic waves ahead of the shock front makes it possible to prepare in advance the means for localizing dust explosions.

Keywords: explosion, explosive dust-air environment, seismic waves, experimental adit, computer modeling.

References

1. Cloney, C., Snoeys, J. (2019). Dust explosions: A serious concern. *Dust Explosions*, 33–69. doi: <https://doi.org/10.1016/bs.mcps.2019.04.001>
2. Yuez, L., Akhtar, S., Sasmitho, A. P., Kurnia, J. C. (2017). Prediction of air flow, methane, and coal dust dispersion in a room and pillar mining face. *International Journal of Mining Science and Technology*, 27 (4), 657–662. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.05.019>
3. Ding, C., He, X., Nie, B. (2017). Numerical simulation of airflow distribution in mine tunnels. *International Journal of Mining*

- Science and Technology, 27 (4), 663–667. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.05.017>
4. Gamiy, Y., Liashok, Y., Kostenko, V., Zavalova, O., Kostenko, T. (2019). Applying European approach to predict coal self-heating in Ukrainian mines. *Mining of Mineral Deposits*, 13 (1), 86–94. doi: <https://doi.org/10.33271/mining13.01.086>
 5. Chernai, A. V., Nalysko, M. M. (2016). Mathematical simulation of gas mixture forced ignition for the calculation of the damaging factors of emergency explosion. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 5, 106–114. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2016_5_18
 6. Chernai, A. V., Nalysko, M. M., Derevianko, H. S. (2016). The kinetics of the methane acidification by the oxygen and its role in the blast air wave formation in mine workings. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 1, 63–69. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2016_1_12
 7. Zavyalova, O. L., Kostenko, V. K. (2017). Mechanism of development explosions of coal dust in the network of mine workings. *Heotekhnichna mekhanika*, 135, 125–136. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/158592>
 8. Medic-Pejic, L., García Torrent, J., Fernandez-Añez, N., Lebecki, K. (2015). Experimental study for the application of water barriers to Spanish small cross section galleries. *DYNA*, 82 (189), 142–148. doi: <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n189.42689>
 9. Che, D., Zhou, H. (2017). Three-dimensional geoscience modeling and simulation of gas explosion in coal mine. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, 22 (3), 329–333. doi: <https://doi.org/10.1007/s12204-017-1839-z>
 10. Sobolev, V. V., Ustimenko, Y. B., Nalysko, M. M., Kovalenko, I. L. (2018). The macrokinetics parameters of the hydrocarbons combustion in the numerical calculation of accidental explosions in mines. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 1, 89–98. doi: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/8>
 11. Ogle, R. A. (2017). Comprehensive dust explosion modeling. *Dust Explosion Dynamics*, 567–617. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803771-3.00010-7>
 12. Liu, J., Liu, Z., Xue, J., Gao, K., Zhou, W. (2015). Application of deep borehole blasting on fully mechanized hard top-coal pre-splitting and gas extraction in the special thick seam. *International Journal of Mining Science and Technology*, 25 (5), 755–760. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.07.009>
 13. Gospodarikov, O. P., Vykhodtsev, Ya. N., Zatsepin, M. A. (2017). Mathematical modeling of seismic explosion waves impact on rock mass with a working. *Journal of Mining Institute*, 226, 405–411. doi: <https://doi.org/10.25515/pmi.2017.4.405>
 14. Aagaard, B. T. (2002). *Finite-Element Simulations of Earthquakes*. Pasadena, 58. doi: <http://doi.org/10.7907/T65C-9C94>
 15. ANSYS Structural Analysis Guide (2004). Canonsburg.
 16. Hallquist, J. O. (2006). *LS-DYNA Theory Manual*. California, 680.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.209421

FORECASTING A MOISTURE MODE OF THE DRAINAGE LAYER IN A ROAD STRUCTURE UNDER THE ACTION OF LOADING (p. 62-75)

Vyacheslav Savenko

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8174-7728>

Alina Kvatadze

State Road Agency of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3320-3798>

Oleksandr Davydenko

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0176-3256>

Vitalii Stozhka

GRANBUD LEADER LLC, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5039-9852>

Leonid Ianchuk

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1269-1251>

The processes forming the humidity mode of the drainage layer of a road structure under the action of excess load have been investigated. The stressed-strained state was determined based on a numerical experiment using the software-calculation suite SCAD Office. The numerical modeling of the examined structure involved the static load of the A₂ group for a road of category II. A series of numerical experiments were performed, which included an increase in the rated load by 10–50 % when overwetting the drainage layer and the earth bed. The distribution of the isofields and isolines of normal stresses and deformations in the volumetric elements was derived, which made it possible to determine the thickness of the soil layer of the earth bed, 0.67 m, from which water is squeezed out under the influence of excess loading.

Based on the approach for determining the parameters of soil subsidence at its drying or freezing, the dependences were established for the relative subsidence of soil, the coefficients of linear subsidence and compaction of soil under the influence of excess load. The proposed dependences integrate such indicators as the deformation below a drainage layer, the depth of stress spread, at which water is not squeezed out from soil, the optimum humidity, and the full moisture content of the soil.

Based on the results of numerical experiments and soil subsidence parameters, the amount of water squeezed out from a layer of soil under the influence of excess load has been determined, which is 5.4 liters per m². The results obtained make it possible to adjust the value of the total specific excess water flowing into a drainage structure. Taking into consideration the squeezing out of water from an earth bed from a soil layer under the influence of excess load from a wheel of 86.25 kN, the general specific excess could vary in the range from 35.4 to 22.4 liters per 1 m². Increasing it by 18–32 % would change the humidity mode of the road bed and reduce the overall elasticity module.

Keywords: stressed-strained state, road structure, drainage layer, water squeezing, excess load.

References

1. Ruvinskiy, V. I. (1982). *Optimal'nye konstruksii zemlyanogo polotna na osnove regulirovaniya vodno-teplovogo rezhima*. Moscow: Transport, 166.
2. Dan, H.-C., Zhang, Z., Liu, X., Chen, J.-Q. (2017). Transient unsaturated flow in the drainage layer of a highway: solution and drainage performance. *Road Materials and Pavement Design*, 20 (3), 528–553. doi: <https://doi.org/10.1080/14680629.2017.1397049>
3. Elshaer, M., Ghayoomi, M., Daniel, J. S. (2017). Methodology to evaluate performance of pavement structure using soil moisture profile. *Road Materials and Pavement Design*, 19 (4), 952–971. doi: <https://doi.org/10.1080/14680629.2017.1283356>
4. Slavinska, O., Savenko, V., Kharchenko, A., Bubela, A. (2017). Development of a mathematical model of evaluation of road-and-transport assets as a component of information-and-management system. *Eastern-European Journal*

- of Enterprise Technologies, 6 (4 (90)), 45–57. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118798>
5. Slavinska, O., Stozhka, V., Kharchenko, A., Bubela, A., Kvata-dze, A. (2019). Development of a model of the weight of motor roads parameters as part of the information and management system of monetary evaluation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (3 (97)), 46–59. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156519>
 6. Aptalaev, M., Zhalko, M. (2016). Effect of the water-and-thermal regime of the auto-road base on the pavement state. Russian Journal of Transport Engineering, 3 (4). doi: <https://doi.org/10.15862/02ts416>
 7. Teltayev, B. B., Suppes, E. A. (2019). Temperature in pavement and subgrade and its effect on moisture. Case Studies in Thermal Engineering, 13, 100363. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.11.014>
 8. Nosov, V. P., Dobrov, E. M., Chistyakov, I. V., Borisiuk, N. V., Fotiadi, A. A. (2017). Mathematical Modelling of Cracking Process in Concrete Pavement Highways. International Journal of Applied Engineering Research, 12 (23), 13158–13164. Available at: http://www.ripublication.com/ijaer17/ijaerv12n23_20.pdf
 9. Nuzhdin, L., Mikhaylov, V. (2018). Numerical modeling of pile foundations using SCAD office structural analysis software. PNRPU Construction and Architecture Bulletin, 9 (1), 5–18. doi: <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2018.1.01>
 10. Das, A. (2015). Structural Design of Asphalt Pavements: Principles and Practices in Various Design Guidelines. Transportation in Developing Economies, 1 (1), 25–32. doi: <https://doi.org/10.1007/s40890-015-0004-3>
 11. Gavrilkina, A. O., Dremova, O. V., Mihaylov, V. S. (2017). Raschetnye modeli gruntovyh osnovaniy, realizuemye v programnom komplekse Scad Office. Polzunovskiy al'manah, 2 (4), 45–48. Available at: http://elib.altstu.ru/journals/Files/pa2017_04_2/pdf/045gavrilkina.pdf
 12. Slavinska, O., Savenko, V., Bubela, A., Yaremov, A. (2018). Investigation of the work of the road construction at the sites by pipe drens from materials of different origin. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (7 (92)), 18–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126512>
 13. Pirmohammad, S., Majd-Shokorlou, Y. (2020). Finite element analysis of road structure containing top-down crack within asphalt concrete layer. Journal of Central South University, 27 (1), 242–255. doi: <https://doi.org/10.1007/s11771-020-4292-3>
 14. Uglova, E., Tiraturyan, A., Lyapin, A. (2016). Integrated approach to studying characteristics of dynamic deformation on flexible pavement surface using nondestructive testing. PNRPU Mechanics Bulletin, 1, 111–130. doi: <https://doi.org/10.15593/permech/2016.2.08>
 15. Zavoritskiy, V. I. (1983). Spravochnik po proektirovaniyu dorozhnykh odezhd. Kyiv: Budivelnik, 104.
 16. Dovidnyk No. 4. Klimatychni kharakterystyky ta klimatychne raionuvannia terytoriyi Ukrainy dlia rehuliuwannia vodno-teplovoho rezhymu v dorozhnomu budivnytstvi (2018). Kyiv. Available at: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=80182

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.208634

PREDICTING DEFORMATIONS IN THE AREA OF IMPACT EXERTED BY A BRIDGE CROSSING BASED ON THE PROPOSED MATHEMATICAL MODEL OF A FLOODPLAIN FLOW (p. 75-87)

Olena Slavinska

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9709-0078>

Anatolii Tsynka

M. P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise,
Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0357-2325>

Iryna Bashkevych

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7640-4317>

To develop the methods for predicting deformations on floodplain areas in the zone of influence of bridge crossings, a mathematical model of a suspended flow with grass vegetation was developed. The problem of calculating the hydrodynamic fields of velocities and pressure in artificially compressed flows refers to the theory of shallow water since the vertical size (flow depth) is substantially smaller than the horizontal dimensions, such as length and width. In accordance with this, the proposed model is based on the equation of distribution of velocity structure and the depth of a floodplain flow in approximation to two-dimensional dependences taking into consideration force factors. Force factors determine resistance at flowing around vegetation in floodplain areas and resistance of washout of fine-grained soil.

To obtain an unambiguous solution of the considered problem, boundary and initial conditions were added to the presented closed system of original equations. These conditions make it possible to determine the level of a free surface of flow and the zone of influence of a bridge crossing at different stages of the estimated flood. Based on finite-difference analogs of transfer equations, the distribution of velocities and depths in estimated sections was calculated. By iteration, the longitudinal velocity in a flood flow with vegetation elements was determined. The results of the calculation of washout on floodplain areas of a sub-bridge watercourse of the lowland river Siversky Donets were obtained. The depth of a flood flow after a washout was determined based on the ratios of actual and flood-free velocities. When compared with the initial bottom marks, the washout of the larger floodplain is 0.96 m, that of the smaller floodplain – 1.28 m.

The proposed scientifically substantiated solution for ensuring optimum interaction of floodplain flows with bridge crossings makes a certain contribution to improving the reliability of their operation due to the quality of design works and the corresponding reduction of construction and operating costs.

Keywords: zone of bridge influence, bridge crossing, floodplain vegetation, suspended flow, deformation on floodplains, floodplain flow, turbulence models.

References

1. Slavinska, O., Stozhka, V., Kharchenko, A., Bubela, A., Kvata-dze, A. (2019). Development of a model of the weight of motor roads parameters as part of the information and management system of monetary evaluation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (3 (97)), 46–59. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156519>
2. Yoon, K., Lee, S., Hong, S. (2019). Time-Averaged Turbulent Velocity Flow Field through the Various Bridge Contractions during Large Flooding. Water, 11 (1), 143. doi: <https://doi.org/10.3390/w11010143>
3. Dragičević, S., Živković, N., Novković, I., Petrović, A., Tošić, R., Milevski, I. (2016). Hydrological and suspended sediment regime in the Kolubara River during the extreme year of 2014. Revista de Geomorfologie, 18 (1), 32–46. doi: <https://doi.org/10.21094/rg.2016.054>
4. Lewin, J., Ashworth, P.J. (2014). The negative relief of large river floodplains. Earth-Science Reviews, 129, 1–23. doi: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.10.014>

5. Iwasaki, T., Shimizu, Y., Kimura, I. (2016). Numerical simulation of bar and bank erosion in a vegetated floodplain: A case study in the Otofuke River. *Advances in Water Resources*, 93, 118–134. doi: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.02.001>
6. Brown, R. A., Pasternack, G. B. (2019). How to build a digital river. *Earth-Science Reviews*, 194, 283–305. doi: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.04.028>
7. Vargas-Luna, A., Duró, G., Crosato, A., Uijtewaal, W. (2019). Morphological Adaptation of River Channels to Vegetation Establishment: A Laboratory Study. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 124 (7), 1981–1995. doi: <https://doi.org/10.1029/2018jf004878>
8. Konsoer, K., Rhoads, B., Best, J., Langendoen, E., Ursic, M., Abad, J., Garcia, M. (2017). Length scales and statistical characteristics of outer bank roughness for large elongate meander bends: The influence of bank material properties, floodplain vegetation and flow inundation. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42 (13), 2024–2037. doi: <https://doi.org/10.1002/esp.4169>
9. Crosato, A., Saleh, M. S. (2010). Numerical study on the effects of floodplain vegetation on river planform style. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36 (6), 711–720. doi: <https://doi.org/10.1002/esp.2088>
10. Västilä, K., Järvelä, J. (2017). Characterizing natural riparian vegetation for modeling of flow and suspended sediment transport. *Journal of Soils and Sediments*, 18 (10), 3114–3130. doi: <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1776-3>
11. Savenko, V. Ya. (1995). *Matematicheskie modeli i metody rascheta kvazitrehmernykh beznapornykh potokov*. Kyiv: Tekhnika, 184.
12. Clavinska, O. S. (2011). Metod prohozuvannia zahalnykh i mistsevykh deformatsiy pidmostovykh rusel z urakhuvanniam protsesiv u prydonniy oblasti. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*, 81, 123–135. Available at: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/81/123-135.pdf
13. Gaev, E. A., Nikitin, I. K. (1982). *Gidrodinamika potoka pri nalichii legko pronitsaemoy sferohovatosti*. *Laminarnyy rezhim*. *Gidromekhanika*, 45, 65–73.
14. Savenko, V. Ya., Slavinskaya, E. S. (2004). *Modelirovanie protsessov razvitiya vnutrennih techeniy s uchedom anizotropii otkrytyh turbulentnykh potokov*. Kyiv: NTU, 176.
15. Tkachuk, S. H. (2004). *Prohozuvannia ruslovykh deformatsiy na mostovykh perekhodakh*. Ch. 3-4. Kyiv: NTU, 98.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.209382

DEVELOPMENT OF A GEOMETRIC MODEL OF A NEW METHOD FOR DELIVERING EXTINGUISHING SUBSTANCES TO A DISTANT FIRE ZONE (p. 88-102)

Leonid Kutsenko

National University of Civil Defence of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1554-8848>

Volodymyr Vanin

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7008-7269>

Andrii Naidysh

Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University,
Melitopol, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4057-7085>

Sergii Nazarenko

National University of Civil Defence of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0891-0335>

Andrii Kalynovskyi

National University of Civil Defence of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1021-5799>

Andrii Cherniavskiy

National Aerospace University Kharkiv Aviation Institute,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3520-9755>

Olga Shoman

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3660-0441>

Victoria Semenova-Kulish

Ukrainian State University of Railway Transport,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4807-0625>

Oleksandr Polivanov

National University of Civil Defence of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6396-1680>

Elizaveta Sivak

National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5526-8544>

A geometric model of a new method of delivering fire-extinguishing substances to a fire zone located at a considerable distance was offered. The idea of delivery is based on the mechanical action of throwing. To this end, a substance (e.g. extinguishing powder) is loaded in a hard shell made as a special container. After delivery by means of a launcher to a fire zone, the container has to release the substance which will promote fire extinguishing.

The known method of remote delivery of extinguishing substances uses a pneumatic gun with a cylindrical container. During delivery, the cylinder must rotate around its axis to ensure flight stability. The cylinder is rotated by a special turbine when passing through the gun barrel. There are difficulties in regulating the distribution of compressed air flows during the turbine operation. In addition, the tightness of the pneumatic part of the gun should be monitored.

The new delivery method uses a container in a form of two spaced loads similar to a sports dumbbell. The dumbbell motion is initiated by simultaneous action of explosion-generated pulses directed at each of its loads in a pre-calculated manner. This results in the rotational motion of the container. To describe the dynamics of the dumbbell motion, a Lagrangian was defined and a system of Lagrange differential equations of the second kind was set up and solved. Examples of modeling trajectories of the centers of masses of the dumbbell loads taking into account air resistance were given.

The proposed method is planned to be a basis of a new fire extinguishing technology. This is evidenced by the new scheme of launching the dumbbell by means of explosion-generated pulses of charges of two pyro cartridges. The obtained results make it possible to estimate magnitudes of explosion-generated pulses necessary for throwing and corresponding distances of the dumbbell delivery.

Keywords: geometric modeling, dumbbell-shaped container, Lagrange equation of the second kind, rotational-translational motion of the container.

References

- Zahmatov, V. D. (2011). Perspective modern development of fire-fighting technique and novelties for forest fire-fighting. *Pozharovzryvobezopasnost'*, 20 (2), 47–59.
- Artsibashev, E. S., Gusev, V. G. (2002). Aviatsonnye sposoby bor'by s lesnymi pozharemi v usloviyah radiatsionnogo zagryazneniya radionuklidami. Gomel': AN Belarusi, 190.
- Roponen, J. (2015). Simulating artillery fire in forest environment. Aalto University, 58.
- Dullum, O. S., Fulmer, K., Jenzen-Jones, N. R., Lincoln-Jones, C., Palacio, D. G.; Jenzen-Jones, N. R. (Ed.) (2017). *Indirect Fire: A technical analysis of the employment, accuracy, and effects of indirect-fire artillery weapons*. Perth: Armament Research Services (ARES), 93.
- Balanyuk, V. M. (2016). Firefighting series of shock waves. *Problemy pozharnoy bezopasnosti*, 40, 26–34.
- Govalenkov, S. V., Dubinin, D. P. (2009). Primenenie vzryvnogo sposoba dlya bor'by s lesnymi pozharemi. *Systemy obrobky informatsiy*, 2 (76), 135–139.
- Modernizovana pozhezhna mashyna HPM-54-01. Available at: <https://www.tank.lviv.ua/ua/productions/details/gpm5401>
- Kovalev, O. O., Kalinovsky, A. Y., Polivanov, O. G. (2019). Development of individual aspects of container method of fire extinguishing. *Fire Safety*, 34, 35–42. doi: <https://doi.org/10.32447/10.32447/20786662.34.2019.06>
- Larin, A., Krivoshei, B., Polivanov, A. (2018). Analysis of the available substances use and methods of their delivery for fire expansion. *Municipal Economy of Cities*, 7 (146), 146–150. doi: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2018-7-146-146-150>
- Kovalenko, R., Kalynovskyi, A., Nazarenko, S., Kryvoshei, B., Grinchenko, E., Demydov, Z. et. al. (2019). Development of a method of completing emergency rescue units with emergency vehicles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (3 (100)), 54–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.175110>
- Larin, O., Morozov, O., Nazarenko, S., Chernobay, G., Kalynovskyi, A., Kovalenko, R. et. al. (2019). Determining mechanical properties of a pressure fire hose the type of «T». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (102)), 63–70. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184645>
- Kalynovsky, A. Ya., Kovalenko, R. I. (2017). Statistical Study of the Nature of Hazardous Events Which are in the Kharkov City. *Komunalne hospodarstvo mist*, 135, 159–166.
- Khilko, Yu., Meleschenko, R. (2017). Determination of parameters of fire extinguishing efficiency of the troop landing of powder-like mixtures from containers. *Problemy pozharnoy bezopasnosti*, 41, 196–200.
- Sakun, O. V. (2018). Dynamic loads in the gas-detonation device for shooting of containers with extinguishing substances. *Problemy nadzvychainykh sytuatsiy*, 27, 93–103.
- TSarev, A. M., ZHuykov, D. A. (2007). Mekhanika deystviya perspektivnykh ogetushaschih sostavov v ustanovkah pozharotusheniya stolovogo tipa konteynernoy dostavki metodom metaniya. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2, 458–464.
- Tsarev, A. M., Zhujkov, D. A. (2007). Questions of external ballistics of flight of the container for delivery of fire-extinguishing stuffs in containers by method of the throwing with application of installations of gun-tube type. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 9 (3), 786–795.
- Karishin, A. V., Tsarev, A. M., Zhuykov, D. A., Yakovlev, G. G. (2007). Reshenie problemy effektivnosti tusheniya pozharov s primeneniem stolovyykh ustanovok konteynernoy dostavki ogetushaschih veschestv. *Pozharovzryvobezopasnost'*, 16 (3), 72–82.
- Kutsenko, L., Kalynovskyi, A., Polivanov, O. (2020). Geometric modeling method throwing fire fighting. *Applied geometry and engineering graphics*, 98, 94–103. doi: <https://doi.org/10.32347/0131-579x.2020.98.94-103>
- Babaiev, O. A., Kryshtal, V. F. (2015). *Teoretychna mekhanika-3. Zahalni teoremy dynamiky ta elementy analitychnoi mekhaniky*. K.: NTUU "KPI", 82.
- Egorov, A. D., Potapova, I. A. (2020). *Teorema Keniga: Prostoy primer*. doi: <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.36728.39684>
- Siano, D. B. (2013). *Trebuchet Mechanics*. Available at: <http://www.algobeaitytreb.com/trebmath356.pdf>
- Mosher, A. (2009). *A Mathematical Model for a Trebuchet*. Available at: [https://classes.engineering.wustl.edu/2009/fall/ese251/presentations/\(AAM_13\)Trebuchet.pdf](https://classes.engineering.wustl.edu/2009/fall/ese251/presentations/(AAM_13)Trebuchet.pdf)
- Rutan, S., Wiczorec, B. (2005). *Modern Siege Weapons: Mechanics of the Trebuchet*. Available at: <https://mse.redwoods.edu/darnold/math55/DEProj/sp05/bshawn/presentation.pdf>
- Balazs, G. (2016). Mobile launching trebuchet for UAVS. 30-th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences. Daejeon, 1–7.
- Balazs, G. (2015). UAV innovativ inditasa – korszeru megoldas a kozepkorbol. *Repulastudományi közlemenyek*, 3, 37–50. Available at: http://www.repulastudomany.hu/folyoirat/2015_3/2015-3-03-0229_Gati_Balazs.pdf
- Kutsenko, L., Semkiv, O., Kalynovskyi, A., Pikasov, M., Suharkova, E. (2017). Geometric model of mobile device to launch unmanned aerial vehicles. *ScienceRise*, 12 (1), 57–62. doi: <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2017.117920>
- Bell, G. (2015). What is the 'best' trebuchet? Available at: <http://grahambell.com.au/wpcontent/uploads/2017/11/GBellTrebuchetPaper2.pdf>
- Higginbotham, S. (2014). *Trebuchet Analysis*. Available at: <https://dokumen.tips/download/link/analysis-of-trebuchet>
- Constans, E. (2017). A Lagrangian Simulation of the Floating-Arm Trebuchet. *The College Mathematics Journal*, 48 (3), 179–187. doi: <https://doi.org/10.4169/college.math.j.48.3.179>
- How to Simulate a Trebuchet Part 3: The Floating-Arm Trebuchet. Available at: http://www.benchtrophybrid.com/How_to_Simulate_a_Trebuchet_Part3.pdf
- Kutsenko, L., Semkiv, O., Zapolskiy, L. (2020). Model disclosures of a four-link rod structure with a moving reference point. *Modern problems of modeling*, 17, 47–53. doi: <https://doi.org/10.33842/2313-125x/2019/17/47/53>
- Kutsenko, L. M., Zapolskiy, L. L. (2018). Heometrychne modeliuvannia peremishchennia v nevahomosti chotyrylankovoho maiatnyka z rukhomoiu tochkoiu kriplennia. *Visnyk Khergonskoho natsionalnogo tekhnichnogo universytetu*, 3 (66), 153–158.
- Mass matrix. Rotating dumbbell. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Mass_matrix
- Rostamian, R. (2018). *A Guided Tour of Analytical Mechanics with animations in MAPLE*. Department of Mathematics and Statistics UMBC, 111.
- Rostamian, R. (2018). *MATH 490: Special Topics in Mathematics Analytical Mechanics*. Fall 2018 Course information. Available at: <https://userpages.umbc.edu/~rostamia/2018-09-math490/>
- Dvizhenie tela, broshennogo pod uglom k gorizontu. Zakony podobiya. Available at: https://lawbooks.news/informatika_961/dvizhenie-tela-broshennogo-pod-uglom-gorizontu-69582.html
- Dvizhenie tela v pole tyazhesti s uchetom soprotivleniya vozduha. Available at: <https://glebgrenkin.blogspot.com/2014/03/blog-post.html>

38. Buyanova, L. V., Zhuravlev, E. I. (2015). Metodika proektirovaniya pirotekhnicheskikh ustroystv sistem otdeleniya. *Inzhenerniy vestnik*, 7, 56–62.
39. Pirotekhnicheskoe ustroystvo dlya sozdaniya udarnykh vozdeystviy. Available at: <https://findpatent.ru/patent/239/2394217.html>
40. Kutsenko, L. M., Kalynovskyi, A. Ya., Polivanov, O. H. (2020). Animatsiyni iliustratsii do statti "Kompiuterne modeliuvania novoi tekhnolohiyi viddalenoj dostavky zasobiv hasin-nia pozhezh". Available at: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/10860>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.209269

SEARCHING FOR THE TWOFREQUENCY MOTION MODES OF A THREE-MASS VIBRATORY MACHINE WITH A VIBRATION EXCITER IN THE FORM OF A PASSIVE AUTOBALANCER (p. 103-111)

Volodymyr Yatsun

Central Ukrainian National Technical University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4973-3080>

Gennadiy Filimonikhin

Central Ukrainian National Technical University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2819-0569>

Haleeva Haleeva

Mykolayiv State Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8017-3133>

Larisa Krivoblotsky

Central Ukrainian National Technical University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3255-2884>

Yurii Machok

Central Ukrainian National Technical University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5328-7859>

Mareks Mezitis

Riga Technical University, Riga, Latvia
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0269-7297>

Nataliia Podoprygora

Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State Pedagogical
University, Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4092-8730>

Mykola Sadovyj

Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State Pedagogical
University, Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6582-6506>

Guntis Strautmanis

Riga Technical University, Riga, Latvia
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8405-939X>

The dynamics of a three-mass vibratory machine with the rectilinear translational motion of platforms and a vibration exciter in the form of a ball, roller, or pendulum auto-balancer have been analytically investigated.

The existence of steady state motion modes of a vibratory machine that are close to two-frequency regimes has been established. At these motions, the loads in an auto-balancer create constant imbalance, cannot catch up with the rotor, and get stuck at a certain frequency. These loads work as the first

vibration exciter, thereby exciting vibrations in resonance with the frequency at which loads get stuck. The second vibration exciter is formed by an unbalanced mass on the body of the auto-balancer. The mass rotates at the rotor's rotation frequency and excites faster vibrations with this frequency. The auto-balancer excites almost ideal two-frequency vibrations. Deviations from the two-frequency law are proportional to the ratio of the mass of the loads to the mass of the platform, which hosts the auto-balancer, and do not exceed 5%.

A three-mass vibratory machine has three resonant (natural) oscillation frequencies, q_1, q_2, q_3 ($q_1 < q_2 < q_3$), and three corresponding shapes of platform oscillations. Loads can only get stuck at speeds close to the resonance (natural) oscillation frequencies of the vibratory machine; and to the rotor rotation frequency.

A vibratory machine always has only one frequency of load jam, slightly less than the rotor speed.

For the case of small viscous resistance forces in the supports of a vibratory machine, an increase in the rotor speed leads to that the new frequencies of load jam:

– emerge in pairs in the vicinity of each natural frequency of the vibratory machine oscillations;

– one of the frequencies is slightly smaller, and the other is somewhat larger than the natural frequency of the vibratory machine oscillations.

Arbitrary viscous resistance forces in the supports can prevent the occurrence of new frequencies at which loads get stuck. Therefore, in the most general case, the number of such frequencies can be 1, 3, 5, or 7, depending on the rotor speed and the magnitudes of the viscous resistance forces in the supports.

The results obtained are applicable when designing new vibratory machines and for the numerical modeling of their dynamics.

Keywords: inertial vibration exciter, two-frequency vibrations, three-mass vibratory machine, auto-balancer, resonance vibratory machine, Sommerfeld effect.

References

1. Bukin, S. L., Maslov, S. G., Lyutyi, A. P., Reznichenko, G. L. (2009). Intensifikatsiya tehnologicheskikh protsessov vibromashin putem realizatsii bigarmonicheskikh rezhimov raboty. *Obo-gashchenie poleznykh iskopaemykh*, 36-37.
2. Kryukov, B. I. (1967). *Dinamika vibratsionnykh mashin rezonansnogo tipa*. Kyiv: Naukova dumka, 210.
3. Lanets, O. S. (2008). Vysokoeffektyvni mizhrezonansni vibratsiyni mashyny z elektromahnitnym pryvodom (Teoretychni osnovy ta praktyka stvorennia). Lviv: Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika", 324.
4. Filimonikhin, G., Yatsun, V. (2015). Method of excitation of dual frequency vibrations by passive autobalancers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (7 (76)), 9–14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.47116>
5. Lu, C.-J., Tien, M.-H. (2012). Pure-rotary periodic motions of a planar two-ball auto-balancer system. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 32, 251–268. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2012.06.001>
6. Artyunin, A. I., Eliseyev, S. V. (2013). Effect of "Crawling" and Peculiarities of Motion of a Rotor with Pendular Self-Balancers. *Applied Mechanics and Materials*, 373-375, 38–42. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.373-375.38>
7. Sommerfeld, A. (1904). *Beitrage zum dynamischen Ausbay der Festigkeitslehre*. *Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure*, 48 (18), 631–636.
8. Artyunin, A. I., Barsukov, S. V., Sumenkov, O. Y. (2019). Peculiarities of Motion of Pendulum on Mechanical System Engine

- Rotating Shaft. Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019), 649–657. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22041-9_70
9. Yaroshevich, N. P., Silivoniuk, A. V. (2013). About some features of run-updynamic of vibration machines with self-synchronizing inertion vibroexciters. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, 4, 70–75. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2013_4_14
 10. Kuzo, I. V., Lanets, O. V., Hurskyi, V. M. (2013). Syntez nyzkochastotnykh rezonansnykh vibratsiynykh mashyn z aeroinertsynym zburenniam. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, 2, 60–67. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2013_2_11
 11. Korendiy, V., Zakharov, V. (2017). Substantiation of Parameters and Analysis of Operational Characteristics of Oscillating Systems of Vibratory Finishing Machines. *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science*, 3 (2), 67–78. doi: <https://doi.org/10.23939/ujmems2017.02.067>
 12. Kuzio, I., Zakharov, V., Korendiy, V. (2018). Substantiation of inertial, stiffness and excitation parameters of vibratory lapping machine with linear oscillations of laps. *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science*, 4 (2), 26–39. doi: <https://doi.org/10.23939/ujmems2018.02.026>
 13. Gursky, V., Lanets, O. (2015). Modernization of high-frequency vibratory table with an electromagnetic drive: theoretical principle and modeling. *Mathematical Models in Engineering*, 1 (2), 34–42. Available at: <https://www.jvejournals.com/article/16483>
 14. Korendiy, V., Kachur, O., Novitskyi, Y., Mazuryk, V., Sereda, V. (2019). Substantiation of parameters and modelling the operation of three-mass vibratory conveyer with directed oscillations of the working element. *Avtomatizaciâ Virobničih Procesiv u Mašinobuduvanni Ta Priladobuduvanni*, 53, 84–100. doi: <https://doi.org/10.23939/istcipa2019.53.084>
 15. Solona, O., Kupchuk, I. (2020). Dynamic synchronization of vibration exciters of the three-mass vibration mill. *Przegląd Elektrotechniczny*, 1 (3), 163–167. doi: <https://doi.org/10.15199/48.2020.03.35>
 16. Neyman, L. A., Neyman, V. Y. (2016). Dynamic model of a vibratory electromechanical system with spring linkage. 2016 11th International Forum on Strategic Technology (IFOST). doi: <https://doi.org/10.1109/ifost.2016.7884234>
 17. Zhao, J., Liu, L., Song, M., Zhang, X. (2015). Influencing Factors of Anti-Resonant Inertial Resonant Machine Vibration Isolation System. 2015 3rd International Conference on Computer and Computing Science (COMCOMS). doi: <https://doi.org/10.1109/comcoms.2015.22>
 18. Li, X., Shen, T. (2016). Dynamic performance analysis of nonlinear anti-resonance vibrating machine with the fluctuation of material mass. *Journal of Vibroengineering*, 18 (2), 978–988. Available at: <https://www.jvejournals.com/article/16559>
 19. Yatsun, V., Filimonikhin, G., Dumenko, K., Nevdakha, A. (2017). Equations of motion of vibration machines with a translational motion of platforms and a vibration exciter in the form of a passive auto-balancer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (89)), 19–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.111216>
 20. Yatsun, V., Filimonikhin, G., Dumenko, K., Nevdakha, A. (2017). Search for two-frequency motion modes of single-mass vibratory machine with vibration exciter in the form of passive auto-balancer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (90)), 58–66. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.117683>
 21. Yatsun, V., Filimonikhin, G., Dumenko, K., Nevdakha, A. (2018). Search for the dualfrequency motion modes of a dualmass vibratory machine with a vibration exciter in the form of passive autobalancer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (91)), 47–54. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121737>
 22. Goncharov, V., Filimonikhin, G., Nevdakha, A., Pirogov, V. (2017). An increase of the balancing capacity of ball or roller-type auto-balancers with reduction of time of achieving auto-balancing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (85)), 15–24. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.92834>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.209228

STABILITY AND RATIONAL DESIGN OF THE «BARRELOGIVE» TYPE STRENGTHENED SHELL STRUCTURES UNDER COMBINED LOADING (p. 6-15)

V. Gristchak, D. Hryshchak, N. Dyachenko, P. Degtiarenko

Вивчається стійкість оболонкової конструкції типу «бочка-оживало», підкріпленої дискретно розташованими проміжними шпангоутами, при спільній дії рівномірного зовнішнього тиску і осьових стискаючих зусиль. Досліджено випадок синусоїдальної апроксимації меридіана серединної поверхні оболонкових відсіків.

Отримано розв'язувальні диференціальні рівняння для дослідження стійкості складеної оболонкової конструкції з урахуванням радіусів кривизни «бочкоподібного» і «оживального» відсіків при спільній дії осьового стискання і рівномірного зовнішнього тиску. Для інтегрування розв'язувальних рівнянь четвертого порядку зі змінними коефіцієнтами використовується метод кінцевих різниць. Показано, що збільшення параметра кривизни меридіана більш ніж на 4 % призводить, в ряді випадків навантаження осьовими зусиллями, до зростання критичного зовнішнього тиску в 1,5–2 рази.

Люструється ефект стабілізації зростання критичного тиску зі збільшенням жорсткості шпангоутів для різних значень кривизни меридіана і кількості підкріплюючих елементів. Даний ефект дозволяє робити висновки про можливість визначення раціональних жорсткісних характеристик конструкції.

Досліджено ефект зростання критичного тиску при наявності стискаючого зусилля в оболонках позитивної Гауссової кривизни, що є результатом виникнення внутрішніх розтягувальних зусиль у окружному напрямку. При цьому відхилення твірної від ідеальної форми призводить до збільшення хвильових чисел в окружному напрямку при втраті стійкості, що вказує на зростання критичного тиску. Подальше збільшення осьового стискання конструкції призводить до виникнення кільцевих стискаючих зусиль, що є наслідком зниження критичних напружень зовнішнього тиску.

Ключові слова: оболонка, конструкція «бочка-оживало», зовнішній тиск, осьове стискання, проміжні шпангоути.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.201073

ANALYTICAL SOLUTION TO THE PROBLEM ABOUT FREE OSCILLATIONS OF A RIGIDLY CLAMPED CIRCULAR PLATE OF VARIABLE THICKNESS (p. 16-23)

K. Trapezon, A. Trapezon

Викладено аналітичний розв'язок однієї з задач прикладної механіки і акустики, який присвячений аналізу вільних вісесиметричних згинальних коливань кругової пластинки змінної товщини. Розглянута жорстко закріплена за контуром пластинка, товщина якої змінюється за параболою $h(\rho) = H_0(1 + \mu\rho)^2$. Для первинної оцінки впливу коефіцієнта μ на результати розглянуто рішення при $\mu=0$ і деякому $\mu \neq 0$. Диференціальне рівняння форм власних коливань пластинки змінної товщини, заданої функцією $h(\rho)$, вирішено поєднанням методів факторизації і симетрій. Спочатку вирішена задача про коливання жорстко забитої пластинки постійної товщини ($\mu=0$), у якій $h(1)/h(0) = \eta = 1$. В результаті розраховані власні частоти (числа λ_i при $i=1\dots 6$), побудовані форми коливань, визначені координати вузлів і пучностей коливань. Далі розглянуто задачу про коливання пластинки змінної товщини при $\eta=2$, що відповідає $\mu=0,4142$. Завдяки методу симетрій отримано аналітичне рішення і частотне рівняння для $\eta=2$ при жорсткому закладанні контуру. Як і при $\eta=1$ обчислені власні частоти, побудовані форми коливань, визначені координати вузлів і пучностей коливань. Взаємне зіставлення частот (чисел λ_i) показує, що власні частоти при $\eta=2$ для $i=1\dots 6$ істотно зростають на (28 ... 19,9) % в порівнянні з випадком $\eta=1$. Підвищення частот є наслідком підвищення згинальної жорсткості пластинки при $\eta=2$, оскільки в даному випадку товщина в центрі обох пластинок залишається незмінною і дорівнює $h=H_0$. З наведених графічних залежностей для форм коливань можна шляхом візуального порівняння судити про особливості розподілу вузлів і пучностей у випадках $\eta=1$ і $\eta=2$. За допомогою розрахункових формул, отриманих з відомих співвідношень, побудовані нормовані епюри радіальних σ_r і тангенціальних σ_θ нормальних напружень при $\eta=1$ та $\eta=2$. Проведено взаємне зіставлення напружень за величиною і характером розподілу. Відзначено, зокрема, більш сприятливий розподіл радіальних напружень при $\eta=2$ з точки зору міцності і підвищення технічного ресурсу.

Ключові слова: власні частоти, форми коливань, аналітичний розв'язок, кругова пластинка, вільні коливання, метод симетрій.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.208940

ANALYSIS OF THE BEARING CAPACITY OF AN ADHESIVE CONNECTION BETWEEN A CELLULAR FILLER AND SHEATHING AT THE ADDRESSED APPLICATION OF THE ADHESIVE ONTO THE ENDS OF HONEYCOMBS (p. 24-32)

A. Kondratiev, O. Prontsevych

Зниження поверхневої маси клею є одним з найважливіших засобів підвищення досконалості стільникових конструкцій. Однією з перспективних технологій при цьому є адресне нанесення клею на торці стільників. Ця технологія виключає пасивну масу клею, що заповнює міжчарункову поверхню, яка не бере участь в забезпеченні несучої здатності клейового з'єднання. Однак зменшення нанесу клею призводить і до зниження несучої здатності виробу. Тому необхідні надійні розрахункові методи визначення несучої здатності таких конструкцій за умов відриву обшивок, які передують експериментальним випробуванням.

Робота присвячена встановленню механізму руйнування стільникових конструкцій при трансверсальному навантаженні в залежності від їх параметрів і факторів технологічного процесу адресного склеювання. Розроблено метод аналізу несучої здатності

клеєвого з'єднання стільникового заповнювача з несучими обшивками при адресному нанесенні клею на торці стільників. Метод дозволяє прогнозувати характер їх руйнування в залежності від відносної глибини проникнення торців граней стільникового заповнювача в клей-розплав. Синтезовано модифіковану математичну модель клейової галтелі, що враховує різномірність склеюваних матеріалів та наявність зазору між торцями граней стільників і несучою обшивкою. Методом скінченних елементів отримано досить складний характер розподілу напружень в зоні перерізу клейової галтелі. Робиться практичний висновок, що склеювання сендвічевих конструкцій розглянутого типу необхідно проводити при температурі і тиску, які забезпечують відносну глибину проникнення торців стільників в клей більше ніж 50 %. Такі технологічні параметри на сучасному рівні виробництва стільникових виробів дозволяють в результаті підвищити їх вагову досконалість та досягти певної економії енергетичних ресурсів, що витрачаються в процесі збирання-склеювання конструкцій розглянутого типу.

Ключові слова: сендвічеві конструкції, стільниковий заповнювач, несуча здатність, клейове з'єднання, клей-розплав, адресне нанесення, галтель.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.208407

DETERMINING THE DYNAMIC LOADING AND STRENGTH OF THE BEARING STRUCTURE OF A COVERED WAGON WHEN FIRING FROM IT (p. 33-41)

O. Fomin, A. Lovska, V. Kudelya, I. Smyrnova

Проведено удосконалення несучої конструкції критого вагона для можливості ведення вогняної дії з нього при русі. В якості прототипу обрано критий вагон моделі 11–217. Для ведення вогняної дії у вертикальній площині запропоновано використання розсувного даху, який складається з ролетів, що пересуваються за допомогою пневматичного або гідравлічного приводу. Для розміщення військової техніки у критому вагоні на його рамі передбачені опорні сектори.

З метою визначення динамічної навантаженості критого вагона при веденні вогняної дії проведено математичне моделювання. Розв'язок математичної моделі здійснений в програмному комплексі MathCad. Визначено залежність прискорень несучої конструкції критого вагона від сили віддачі бойового устаткування, розміщеного на ньому. Встановлено, що для дотримання показників динаміки в межах допустимих бойове устаткування повинно мати максимальну віддачу при пострілі близько 3,2 кН. Максимальні прискорення, які діють на несучу конструкцію критого вагона у вертикальній площині складають близько 6 м/с². В зонах взаємодії кузова з візками максимальні прискорення дорівнюють близько 9,5 м/с², а прискорення візків – 10 м/с². Для зменшення динамічної навантаженості несучої конструкції критого вагона запропоновано використання в'язкого зв'язку між опорними секторами та рамою. Визначено залежність прискорень від коефіцієнту в'язкого опору між опорними секторами та несучою конструкцією вагона. Встановлено, що з урахуванням використання в'язкого зв'язку між опорними секторами та рамою є можливим знизити динамічну навантаженість вагона мінімум на 15 %. Визначено основні показники міцності несучої конструкції критого вагона при веденні вогняної дії. Отримано залежність максимальних еквівалентних напружень в несучій конструкції критого вагона від сили віддачі бойового устаткування. Максимальні еквівалентні напруження при силі віддачі 3,2 кН виникають в консольній частині хребтової балки критого вагона та складають близько 300 МПа. Максимальні переміщення зафіксовані в зоні розміщення передніх упорів автозчепу та дорівнюють 2,9 мм. Максимальні деформації склали 6,98·10⁻³.

Проведений модальний аналіз несучої конструкції критого вагона. Встановлено, що значення власних частот коливань знаходяться в межах допустимих.

Проведені дослідження сприятимуть створенню інноваційного рухомого складу для перевезення військової техніки та ведення вогняної дії при русі.

Ключові слова: критий вагон, несуча конструкція, динамічна навантаженість, міцність конструкції, модальний аналіз, транспортна механіка.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.209378

STUDY OF STRENGTH, DEFORMABILITY PROPERTY AND CRACK RESISTANCE OF BEAMS WITH BFRP (p. 42-53)

V. Karpiuk, A. Tselikova, A. Khudobych, I. Karpiuk, A. Kostyuk

Наведено експериментальні дані міцності, деформативності та тріщиностійкості залізобетонних і базальтобетонних балок 2000×200×100 мм. Поздовжня арматура залізобетонних балок – 2 Ø14A500С, а базальтобетонних – 2 Ø14BFRP (АКБ800). Поперечна арматура залізобетонних балок представляла собою 2 Ø3, 4, 5 ВрІ, базальтобетонних – 2 Ø4, 6, 8 BFRP (АКБ800). Балки були виготовлені з важкого бетону класів С16/20, С30/35 і С40/50. Дослідні зразки випробовували за чотирихточковою схемою як вільно оберті балки, завантажені двома зосередженими силами. Навантаження в серіях дослідів було ступеневе зростаючим статичним і малоцикловим повторним високих рівнів 0,50; 0,65; і 0,80F_{ult}. Відстань від опор до зосереджених сил (проліт зрізу), a/h₀, змінювали в межах 1, 2, 3. Дослідні зразки були виготовлені та випробувані відповідно до теорії планування експерименту за Д-оптимальним планом Бокса В4. Виконано порівняльний аналіз основних параметрів працездатності залізобетонних і базальтобетонних балок за дії зазначеного навантаження.

Необхідність даних досліджень зумовлена незадовільною збіжністю дослідних і розрахункових значень несучої здатності похилих перерізів базальтобетонних балок, визначених за існуючими нормативними методиками.

Виконаними дослідженнями встановлений вплив конструктивних чинників та характеру навантаження на основні параметри працездатності балкових базальтобетонних елементів у вигляді експериментально-статистичних залежностей.

Ці результати ляжуть в основу фізичної моделі опору похилих перерізів вказаних конструкцій зовнішньому навантаженню. Представлені результати суттєво доповнять існуючий банк даних про роботу балкових базальтобетонних конструкцій і будуть використані при розробці аналітичного методу розрахунку їхньої міцності, деформативності та тріщиностійкості.

Ключові слова: базальтопластикова і сталева арматура, несуча здатність, статичне і малоциклове навантаження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.209409

THE DEFORMATION DYNAMICS OF THE EXPERIMENTAL ADIT'S MATERIAL DURING A COAL DUST EXPLOSION (p. 54-62)

V. Kostenko, Ya. Liashok, O. Zavalova, S. Pozdieiev, T. Kostenko

Метою статті є удосконалення механізму утворення в порожнечі виробки вибухонебезпечного середовища зі скупчень вугільного пилу на основі розкриття динамічних деформацій під дією вибуху в матеріалі, що вміщує дослідну виробку. Для моделювання динамічних змін напружено-деформованого стану породного масиву, в якому проведено дослідну штольню, при впливі вибухових навантажень, був використаний сучасний метод кінцевих різниць математично-комп'ютерного моделювання. В ході досліджень адаптовано математичну модель для вивчення напружено-деформованого стану породного масиву в якому створено дослідну штольню при імітації пилового вибуху. Додатково в моделі враховано особливості безпосереднього впливу продуктів вибуху на стінки виробки, а також їх непряма дія. Отримано дані про розповсюдження передового фронту сейсмічних хвиль в гірничих породах в яких споруджено дослідну виробку. Встановлено параметри швидкостей та прискорень компонентів сейсмічних хвиль що випереджають ударний фронт, який рухається у газовому середовищі гірничої виробки під час вибуху пилоповітряної суміші.

В роботі отримано дані про динамічні процеси, що відбуваються в гірничому масиві та на поверхні дослідної виробки при ланцюговому вибуху пилоповітряної суміші. Результати моделювання дозволили підтвердити гіпотезу про розпушення скупчень пилу під впливом сейсмічних хвиль, які суттєво випереджають фронт вибуху, що рухається по виробці. Результати моделювання відкривають можливість удосконалення систем захисту або локалізації пилоповітряних або пилогазоповітряних вибухів. Наявність випереджаючих ударний фронт сейсмічних хвиль відкриває можливість завчасно приводити до готовності засоби локалізації пилових вибухів.

Ключові слова: вибух, вибухонебезпечне пило-повітряне середовище, сейсмічні хвилі, дослідна штольня, комп'ютерне моделювання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.209421

FORECASTING A MOISTURE MODE OF THE DRAINAGE LAYER IN A ROAD STRUCTURE UNDER THE ACTION OF LOADING (p. 62-75)

V. Savenko, A. Kvatadze, O. Davydenko, V. Stozhka, L. Ianchuk

Досліджено процеси формування вологісного режиму дренажного шару дорожньої конструкції під дією понаднормативного навантаження. Визначення напружено-деформованого стану проводилося за числовим експериментом в програмно-розрахунковому комплексі SCAD Office. При числовому моделюванні розглядуваної конструкції використовувалось статичне навантаження групи A_2 для автомобільної дороги II-ої категорії. Було проведено серію числових експериментів, які включали збільшення нормативного навантаження на 10–50 % при перезволоженні дренажного шару і ґрунту земляного полотна. Отримано розподіл ізополів та ізоліній нормальних напружень та деформацій в об'ємних елементах, що дозволило визначити товщину шару ґрунту земляного полотна – 0,67 м, з якого відбувається віджимання води під дією понаднормативного навантаження.

Ґрунтуючись на підході щодо визначення параметрів осідання ґрунту, при його висиханні або розмерзанні, отримано залежності для відносного осідання ґрунту, коефіцієнтів лінійного осідання та ущільнення ґрунту під дією понаднормативного навантаження. Запропоновані залежності поєднують такі показники, як деформація під дренажним шаром, глибина поширення напружень, при яких не віджимається вода з ґрунту, оптимальна вологість та повна вологемність ґрунту.

На основі результатів числових експериментів та параметрів осідання ґрунту визначено величину віджимання води з шару ґрунту під впливом понаднормативного навантаження, яка складає 5,4 л на m^2 . Отримані результати дозволяють скоригувати величину загального питомого надлишку води, що надходить в дренажну конструкцію. З урахуванням віджимання з шару ґрунту земляного полотна під впливом понаднормативного навантаження від колеса 86,25 кН загальний питомий надлишок може бути в межах від 35,4 до 22,4 л на $1 m^2$. Його збільшення на 18–32 % змінить вологісний режим основи дорожнього одягу та зменшить загальний модуль пружності.

Ключові слова: напружено-деформований стан, дорожня конструкція, дренажний шар, віджимання води, понаднормативне навантаження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.208634

PREDICTING DEFORMATIONS IN THE AREA OF IMPACT EXERTED BY A BRIDGE CROSSING BASED ON THE PROPOSED MATHEMATICAL MODEL OF A FLOODPLAIN FLOW (p. 75-87)

O. Slavinska, A. Tsynka, I. Bashkevych

Для розробки методів прогнозування деформацій на заплавних ділянках в зоні впливу мостових переходів розроблена математична модель зависенесного потоку з трав'яною рослинністю. Задача розрахунку гідродинамічних полів швидкостей та тиску в штучно стиснутих потоках відносяться до теорії мілкої води, оскільки вертикальний розмір (глибина потоку) суттєво менший від горизонтальних розмірів, довжини та ширини. Відповідно до цього запропонована модель ґрунтується на рівнянні розподілу швидкісної структури та глибини заплавного потоку в наближенні до двовимірних залежностей з урахуванням силових факторів. Силові фактори обумовлюють опір при обтіканні рослинності на заплавних ділянках та опір розмиву дрібнозернистих ґрунтів.

Для отримання однозначного розв'язку розглядуваної задачі до представлені замкнutoї системи вихідних рівнянь додані граничні і початкові умови. Ці умови дозволяють визначити рівень вільної поверхні потоку та зону впливу мостового переходу на різних етапах проходження розрахункового паводка. За скінченно-різницевиими аналогами рівнянь переносу розраховано розподіл швидкостей та глибин в розрахункових створах. За допомогою ітерацій визначено поздовжню швидкість в усталеному заплавному потоці з елементами рослинності. Отримані результати розрахунку розмиву на заплавних ділянках підмостового русла рівнинної річки Сіверський Донець. Глибина заплавного потоку після розмиву визначається на основі співвідношень дійсної та

нерозмивної швидкостей. При порівнянні з початковими донними відмітками розмив більшої заплави становить 0,96 м, меншої заплави – 1,28 м.

Запропоноване науково-обгрунтоване рішення з забезпечення оптимальної взаємодії заплавних потоків з мостовими переходами вносить певний вклад в підвищення надійності їх функціонування за рахунок якості проектних робіт та відповідного зниження будівельно-експлуатаційних витрат.

Ключові слова: зона впливу моста, мостовий перехід, рослинність на заплавах, зависенесний потік, деформації на заплавах, заплавний потік, моделі турбулентності.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.209382

DEVELOPMENT OF A GEOMETRIC MODEL OF A NEW METHOD FOR DELIVERING EXTINGUISHING SUBSTANCES TO A DISTANT FIRE ZONE (p. 88-102)

L. Kutsenko, V. Vanin, A. Naidysh, S. Nazarenko, A. Kalynovskiy, A. Cherniavskiy, O. Shoman, V. Semenova-Kulish, O. Polivanov, E. Sivak

Запропонована геометрична модель нового способу доставки вогнегасної речовини в зону пожежі, розташованої на значній відстані. Ідея доставки основана на механічній операції метання. Для цього речовину (наприклад, вогнегасний порошок) поміщають у тверду оболонку – спеціальний контейнер. Після доставки за допомогою старту пристрою до місця пожежі контейнер повинен вивільнити речовину, що сприятиме гасінню пожежі.

У відомому способі віддаленої доставки вогнегасної речовини використовується пневматична гармата з контейнером циліндричної форми. В процесі доставки циліндр повинен обертатися навколо своєї осі для забезпечення стійкості руху. Розкручування циліндра при його проходженні дулом гармати виконує спеціальна турбіна. При функціонуванні турбіни виникають складнощі регулювання розподілу потоків стисненого повітря. Крім того, потрібно слідкувати за герметичністю пневматичної частини гармати.

У новому способі доставки використовується контейнер у вигляді двох рознесених вантажів, подібний спортивній гантелі. Ініціювання руху гантелі здійснюється завдяки одночасній дії вибухових імпульсів, спрямованих на кожний її вантаж заздалегідь розрахованим чином. В результаті утворюється обертово-поступальний рух контейнера. Для опису динаміки руху гантелі визначено лагранжіан, а також складено та розв'язано систему диференціальних рівнянь Лагранжа другого роду. Наведено приклади моделювання траєкторій руху центрів мас вантажів гантелі з урахуванням опору повітря.

Запропонований спосіб планується покласти в основу нової технології пожежогасіння. Про це свідчить нова схема запуску гантелі за допомогою вибухових імпульсів зарядів двох піропатронів. Одержані результати дозволяють оцінити необхідні для метання величини вибухових імпульсів, а також оцінити відповідні значення відстаней доставки гантелі.

Ключові слова: геометричне моделювання, гантелеподібна форма контейнеру, рівняння Лагранжа другого роду, обертово-поступальний рух контейнера.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.209269

SEARCHING FOR THE TWOFREQUENCY MOTION MODES OF A THREEMASS VIBRATORY MACHINE WITH A VIBRATION EXCITER IN THE FORM OF A PASSIVE AUTOBALANCER (p. 103-111)

V. Yatsun, G. Filimonikhin, A. Haleeva, L. Krivoblotsky, Yu. Machok, M. Mezitis, N. Podoprygora, M. Sadovyi, G. Strautmanis

Аналітично досліджено динаміку тримасової вібромашини з прямолінійним поступальним рухом платформ і вібробудувачем у вигляді кульового, роликowego або маятникового автобалансира.

Встановлено існування усталених режимів руху вібромашини, близьких до двочастотних. На цих рухах вантажі в автобалансири створюють постійну нерівноваженість, не можуть наздогнати ротор і застряють на певній частоті. Цим вантажі працюють як перший вібробудувач, що збуджує резонансні вібрації з частотою застрягання вантажів. Другий вібробудувач утворюється дебалансною масою на корпусі автобалансира. Маса обертається з частотою обертання ротора і збуджує швидші вібрації з цією частотою. Автобалансири збуджує практично ідеальні двочастотні вібрації. Відхилення від двучастотного закону пропорційні відношенню маси вантажів до маси платформи, на якій знаходиться автобалансири і не перевищують 5 %.

У тримасової вібромашини три резонансні (власні) частоти коливань – q_1 , q_2 , q_3 ($q_1 < q_2 < q_3$) і три відповідні форми коливань платформ. Вантажі можуть застрягати тільки на швидкостях, близьких до: резонансних (власних) частот коливань вібромашини; частоті обертання ротора.

У вібромашини завжди існує, причому тільки одна, частота застрягання вантажів, трохи менша швидкості обертання ротора.

У разі малих сил в'язкого опору в опорах у вібромашини зі збільшенням швидкості обертання ротора нові частоти застрягання вантажів:

- з'являються парами в околі кожної власної частоти коливань вібромашини;
- одна з частот дещо менше, а інша – дещо більше власної частоти коливань вібромашини.

Довільні сили в'язкого опору в опорах можуть заважати появи нових частот застрягання вантажів. Тому в найбільш загальному випадку таких частот може бути 1, 3, 5 або 7, в залежності від швидкості обертання ротора і величин сил в'язкого опору в опорах.

Одержані результати застосовні для проектування нових вібромашин та для числового моделювання їх динаміки.

Ключові слова: інерційний вібробудувач, двочастотні вібрації, тримасова вібромашина, автобалансири, резонансна вібромашина, ефект Зомерфельда.