

ABSTRACT AND REFERENCES

APPLIED MECHANICS

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.213525

DETERMINING PATTERNS IN THE STRESSED-DEFORMED STATE OF THE RAILROAD TRACK SUBGRADE REINFORCED WITH TUBULAR DRAINS (p. 6–13)**Josyp Luchko**

Lviv National Agrarian University, Dubliany, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3675-0503>**Vitalii Kovalchuk**

National Transport University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4350-1756>**Ivan Kravets**

Dnipro National University of Railway Transport Named after academician V. Lazaryan, Dnipro, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2239-849X>**Oleksiy Gajda**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6206-614X>**Arthur Onyshchenko**

National transport university, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

The technical condition of the railroad track subgrade has been analyzed, as well as the issues related to ensuring its strength and stability when exposed to floodwaters and when the track's sections are overmoistened during operation. As a result, it has been established that it is necessary to develop methods aimed at improving the subgrade's carrying capacity.

The georadar research has explored the problematic areas of the railroad track subgrade, based on which the distribution of subgrade heterogeneity in the vertical plane, as well as the boundaries of its location, were established. Therefore, georadar research makes it possible to detect hidden defective sites in the subgrade without disrupting its strength characteristics.

A technique has been proposed to improve the carrying capacity of the failed subgrade of a railroad track using the combined arrangement of drainage pipes in the vertical and horizontal directions in the railroad embankment. The special feature of this technique is the possibility to drain water at the different levels of surface water, which provides for an increase in the carrying capacity of the failed subgrade.

The strained-deformed state of the subgrade reinforced with tubular drainage has been investigated. The result has proven the effectiveness of the use of tubular drainages to improve the carrying capacity of the railroad track overmoistened subgrade exposed to constant and temporary loads.

This study findings have established that the deformity of the subgrade increases when using tubular drainage, though this occurs only in the initial period of its arrangement, in further operation, when it removes water from the subgrade body, the carrying capacity of the subgrade, on the contrary, will improve due to the enhanced physical and mechanical properties of soils.

Keywords: subgrade, stresses, deformations, carrying capacity, drainage pipes, finite-element method.

References

1. Diachenko, L. I., Kyslyi, H. P., Kurach, V. O. (2001). Instruktsiya z utrymannia zemlianooho polotna zaliznyts Ukrainy. Dnipro: Vyd-vo ATZT VKF "Art-Pres", 104.
2. Pravyta tekhnichnoi ekspluatatsii zaliznyts Ukrainy (2003). Zatv.: Nakaz Mintransu Ukrainy No. 411 vid 20.12.1996 r. iz zminamy ta dopovnenniamy. Kyiv, 133.
3. Sait Ukrzaliznytsi. Available at: <https://www.uz.gov.ua/search/?split=0&q=%D0%B4%D0%B5%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8+%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D1%96%D1%97&from=&to=&lang=§ion=>
4. Kovalchuk, V., Sysyn, M., Nabochenko, O., Pentsak, A., Voznyak, O., Kinter, S. (2019). Stability of the Railway Subgrade under Condition of Its Elements Damage and Severe Environment. MATEC Web of Conferences, 294, 03017. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929403017>
5. Zaliznychnyky zavershuiut vidnovlennia kolyi, poshkodzhennykh poveniamy na Ivano-Frankivshchyni (2020). Available at: <http://railway.lviv.ua/info/press-center/news/article/2020/july/2105/>
6. Novorichnyi "siurpryz" vid stykhiyi (2008). Lvivskyi zaliznychnykh. Available at: <http://railway.lviv.ua/fileadmin/gazeta/2008/N01/2.pdf>
7. Petrenko, V. D., Tiutkin, O. L., Kulazhenko, O. M. (2016). Box Test Researches of Subgrade Reinforcement for the Increase of Motion of Trains on the Ukrainian Railways. Ukrainiska zaliznytsia, 5 (35), 40–45. Available at: <http://eadnurt.diit.edu.ua/handle/123456789/4770>
8. Hurtina, L. H., Khlapuk, M. M., Shumynskiy, V. D. (2019). Zastosuvannia armuvannia hruntovykh sporud v hidrotekhnichnomu ta tsyvilnomu budivnytstvi. Hidroenerhetyka Ukrainy, 1-2, 72–75. Available at: <https://uhe.gov.ua/sites/default/files/2019-08/18.pdf>
9. Lanis, A. L. (2019). Armirovanie ekspluatiruemykh vysokikh nasypey s in'ektirovaniem tverdeyushchih rastvorov. Novosibirsk, 409.
10. Latvala, J., Nurmikolu, A., Luomala, H. (2016). Problems with Railway Track Drainage in Finland. Procedia Engineering, 143, 1051–1058. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.098>
11. Tasalloti, A., Marshall, A. M., Heron, C. M., Hashemi, M. A. (2020). Geocellular railway drainage systems: Physical and numerical modelling. Transportation Geotechnics, 22, 100299. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2019.100299>
12. Slavinska, O., Savenko, V., Bubela, A., Yaremov, A. (2018). Investigation of the work of the road construction at the sites by pipe drenes 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. Bubela, A., Bondarenko, L., Chechuha, O., Slavinska, O. (2020). Research of the work of small drainage drainage on the intensity of drainage, taking into account the influence of vibration. Dorogi i Mosti, 21, 201–216. doi: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.201>
14. Kovalchuk, V., Markul, R., Bal, O., Milyanych, A., Pentsak, A., Parneta, B., Gajda, A. (2017). The study of strength of corrugated metal structures of railroad tracks. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (7 (86)), 18–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96549>
15. Kovalchuk, V., Markul, R., Pentsak, A., Parneta, B., Gayda, O., Braichenko, S. (2017). Study of the stress-strain state in defec-

- tive railway reinforced-concrete pipes restored with corrugated metal structures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (89)), 37–44. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109611>
16. Kovalchuk, V., Kovalchuk, Y., Sysyn, M., Stankevych, V., Petrenko, O. (2018). Estimation of carrying capacity of metallic corrugated structures of the type Multiplate MP 150 during interaction with backfill soil. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (1 (91)), 18–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123002>
 17. Kovalchuk, V., Hnativ, Y., Luchko, J., Sysyn, M. (2020). Study of the temperature field and the thermo-elastic state of the multi-layer soil-steel structure. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, 19, 65–78. doi: <http://doi.org/10.7409/rabdim.020.004>
 18. Nabochenko, O., Sysyn, M., Kovalchuk, V., Kovalchuk, Y., Pentsak, A., Braichenko, S. (2019). Studying the railroad track geometry deterioration as a result of an uneven subsidence of the ballast layer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (97)), 50–59. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154864>
 19. Sysyn, M., Nabochenko, O., Kovalchuk, V., Gerber, U. (2019). Evaluation of railway ballast layer consolidation after maintenance works. *Acta Polytechnica*, 59 (1), 77–87. doi: <https://doi.org/10.14311/ap.2019.59.0077>
 20. Sysyn, M., Kovalchuk, V., Gerber, U., Nabochenko, O., Parneeta, B. (2019). Laboratory Evaluation of Railway Ballast Consolidation by the Non-Destructive Testing. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 21 (2), 81–88. doi: <https://doi.org/10.26552/com.c.2019.2.81-88>
 21. Ashpiz, E. S., Savin, A. N. (2006). Monitoring sostoyaniya vysokih nasypey Verhovskoy distantsii puti Moskovskoy zheleznoy dorogi. *Materealy tret'ey nauch.-tehn. konf. s mezhdunar. uchastiem. Moscow*, 76–79.
 22. Sysyn, M., Kovalchuk, V., Gerber, U., Nabochenko, O., Pentsak, A. (2020). Experimental study of railway ballast consolidation inhomogeneity under vibration loading. *Pollack Periodica*, 15 (1), 27–36. doi: <https://doi.org/10.1556/606.2020.15.1.3>
 23. DBN. 2.3-19:2018. *Sporudy transportu. Zaliznytsi kolyiy 1520 mm. Normy proektuvannya* (2018). Kyiv: Minrehionbud, 126.
 24. Petrenko, V. D., Tiutkin, O. L., Kupriy, V. P. (2015). Analysis of reinforced railway bed stability for realization of terms of his safety at the increase of speed movement. *Electromagnetic Compatibility and Safety on Railway Transport*, 9, 76–85. Available at: http://ecsrt.diit.edu.ua/article/view/73849/pdf_83
 25. Petrenko, V. D., Huzchenko, V. T., Tiutkin, A. L., Alkhodour, A. M. M., Kovalevich, V. V. (2012). Comparative analysis NDS subgrade when modernization. *Bridges and tunnels: Theory, Research, Practice*, 1, 69–74.
 26. Kravets, I., Luchko, J., Kovalchuk, V. (2019). GPR method as a non-destructive method for subgrade monitoring. *Drogi i Mosti*, 19-20, 117–137. doi: <https://doi.org/10.36100/drogimosti2019.19.119>
 27. DBN V.1.2-15:2009. *Sporudy transportu. Mosty ta truby. Navantazhennia i vplyvy* (2009). Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 83.
 28. Luchko, Y. Y., Kovalchuk, V. V., Kravets, I. B. (2020). Mosty i truby z hofrovanykh metalevykh konstruktsiy ta monitorynh gruntovykh osnov dorih i sporud. Lviv: Svit, 272.
 29. Drenazhnaia truba PRAGMA. Available at: <https://pn20.com.ua/ua/products/drenajnaya-truba/>
 30. Shvets, V. B., Shapoval, V. G., Petrenko, V. D. (2008). *Fundamenty promyshlennyh, grazhdanskih i transportnyh sooruzheniy na sloistykh gruntovykh osnovaniyah. Dnepropetrovsk: Novaya ideologiya*, 274.
 31. Petrenko, V. D., Tiutkin, O. L., Kulazhenko, Ye. Yu., Kulazhenko, O. M. (2016). *Matematyчне modeliuвання zemlianoho polotna zaliznychnoi kolyiy na osnovi metodu skinchennykh elementiv. Dnipro: Dniprovskiy natsionalnyi universytet zaliznychnoho transportu*, 64.
 32. Brinkgreve, R. B. J., Vermeer, P. A. (2002). *PLAXIS (version 8) user's manual. Delft University of Technology and PLAXIS BV*.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.200527

CALCULATION OF THE COMPOSITE TIMBER-REINFORCED-CONCRETE BENDING ELEMENTS CONSIDERING THE NONLINEAR WORK OF THE JOINT (p. 14–21)

Svitlana Shekhorkina

Prydniprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7799-2250>

Mykola Savyt'skyi

Prydniprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4515-2457>

Tetiana Nikiforova

Prydniprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0688-2759>

Kostiantyn Shliakhov

Prydniprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6493-6201>

Anastasiia Myslytska

Prydniprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9609-7270>

A method has been proposed to calculate the composite timber-concrete bending elements taking into consideration the non-linear work of a nail joint and the stretched reinforcement in a slab. An acting building code regulates the structure estimation based on the linear-elastic work while the pattern of the joint's deformation under loading demonstrates a pronounced non-linear character. Estimation formulae do not account for the presence of reinforcement in a concrete slab, which leads to the irrational use of the structure's load-bearing properties.

A dependence has been proposed to determine the slip modulus. The determining coefficients are computed based on the rated characteristics given in the acting design standards.

An algorithm for calculating the composite timber-concrete bending structures has been given, taking into consideration the deformation diagram of the joint and reinforcement in the stretched zone of a concrete element.

It has been established that the normal stresses for the considered variants of timber-concrete beams, determined on the basis of the proposed procedure and the linear-elastic model, differ by 1–8 %. At loads corresponding to plastic deformations, those stresses that were estimated in line with the linear-elastic model prove to be understated. At loads exceeding 0.75 kN/m for the beam with a span of 3 m, and 0.5 kN/m for the beam with a span of 5 m, stresses in the stretched region of a concrete slab exceed the concrete stretching strength while the stresses in a timber beam do not reach the ultimate values. In fact, in this case, the structure's load-bearing capacity is underutilized

because the stretching effort in the cross-section with a crack is accepted by the reinforcement.

Based on the design features of timber-concrete floors (the thickness of a slab and protective layer), an analysis of the load-bearing capacity considering the reinforcement has been performed. It has been established that the load-bearing capacity of a slab ensures that an estimated bending momentum is tolerated up until the loads that cause the destruction of the timber beam. At the same time, the conditions for the rational operation of compressed concrete and stretched reinforcement are met.

Keywords: timber-concrete structures, bending elements, nail joint, non-linear work, reinforcement.

References

- EN 1995-1-1. Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings (2004). Brussels: European Committee for Standardization, 121.
- DBN V.2.6-161:2017. Dereviani konstruktsiyi. Osnovni polozhennia (2017). Kyiv: Minrehion, 111.
- Girhammar, U. A., Pan, D. H. (2007). Exact static analysis of partially composite beams and beam-columns. *International Journal of Mechanical Sciences*, 49 (2), 239–255. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2006.07.005>
- Lengyel, Á., Ecsedi, I. (2015). Static and dynamic analyses of composite beams with interlayer slip. *Journal of Computational and Applied Mechanics*, 10 (1), 25–40. doi: <https://doi.org/10.32973/jcam.2015.002>
- Girhammar, U. A. (2009). A simplified analysis method for composite beams with interlayer slip. *International Journal of Mechanical Sciences*, 51 (7), 515–530. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2009.05.003>
- Mascia, N. T., Forti, N. C. S., Soriano, J., Nicolas, E. A., Forti, T. L. D. (2013). Study of concrete–timber composite beams using an analytical approach based on the principle of virtual work and experimental results. *Engineering Structures*, 46, 302–310. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.07.035>
- Auclair, S. C., Sorelli, L., Salenikovich, A. (2016). Simplified nonlinear model for timber-concrete composite beams. *International Journal of Mechanical Sciences*, 117, 30–42. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2016.07.019>
- Gelfi, P., Giuriani, E., Marini, A. (2002). Stud Shear Connection Design for Composite Concrete Slab and Wood Beams. *Journal of Structural Engineering*, 128 (12), 1544–1550. doi: [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2002\)128:12\(1544\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2002)128:12(1544))
- Dias, A. M. P. G., Cruz, H. M. P., Lopes, S. M. R., van de Kuiten, J. W. (2010). Stiffness of dowel-type fasteners in timber–concrete joints. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings*, 163 (4), 257–266. doi: <https://doi.org/10.1680/stbu.2010.163.4.257>
- Dias, A. M. P. G. (2010) Non linear modelling of timber-concrete composite structures. 11th World Conference on Timber Engineering, 1, 131–139. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/264855448>
- Dias, A. M. P. G., Martins, A. R. D., Simões, L. M. C., Providência, P. M., Andrade, A. A. M. (2015). Statistical analysis of timber–concrete connections – Mechanical properties. *Computers & Structures*, 155, 67–84. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2015.02.036>
- Oudjene, M., Meghlat, E.-M., Ait-Aider, H., Batoz, J.-L. (2013). Non-linear finite element modelling of the structural behaviour of screwed timber-to-concrete composite connections. *Composite Structures*, 102, 20–28. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2013.02.007>
- Khorsandnia, N., Valipour, H., Crews, K. (2014). Structural Response of Timber-Concrete Composite Beams Predicted by Finite Element Models and Manual Calculations. *Advances in Structural Engineering*, 17 (11), 1601–1621. doi: <https://doi.org/10.1260/1369-4332.17.11.1601>
- Dias, A. M. P. G. (2012). Analysis of the Nonlinear Behavior of Timber-Concrete Connections. *Journal of Structural Engineering*, 138 (9), 1128–1137. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0000523](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0000523)
- EN 26891:1991. Timber structures – joints made with mechanical fasteners – general principles for the determination of strength and deformation characteristics (1991). Brussels: European Committee for Standardization, 10.
- McCormac, J. C., Nelson, J. K. (2008). *Design of Reinforced Concrete*. John Wiley & Sons, 736.
- DBN V.2.6-98:2009. Konstruktsiyi budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonna konstruktsiyi. Osnovni polozhennia (2011). Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 71.
- EN 338:2016. Structural timber. Strength classes (2016). Brussels: European Committee for Standardization, 14.
- ISO 898-1:2013. Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel – Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes – Coarse thread and fine pitch thread (2013). Geneva: International Organization for Standardization, 57.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214133

DEVISING A PROCEDURE FOR CALCULATING THE DESIGNED STRENGTH OF A KINGPIN-TYPE LOAD-CARRYING SYSTEM FOR AN ARTICULATED TRACTOR CONTAINER CARRIER (p. 22–29)

Oleg Beihul

Dniprovsky State Technical University, Kamianske, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1350-0656>

Denis Grischenko

Dnipro State Customs Service, Dnipro, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6787-8833>

Vsevolod Beihul

Dniprovsky State Technical University, Kamianske, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7320-0156>

Ann Lepetova

Dniprovsky State Technical University, Kamianske, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0554-7799>

Dmytro Chasov

Dniprovsky State Technical University, Kamianske, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3830-693X>

Bogdan Kolyada

ArcelorMittal, Kryviy Rih, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8865-8277>

The development of a methodology for calculating the designed strength of an unconventional kingpin-type load-carrying system for the articulated tractor container carrier on pneumatic wheels is an important and relevant task due to the unique layout of a given specialized vehicle. The purpose of this work is to devise a procedure for calculating the designed strength of a clip load-carrying system for the articulated tractor container carrier on pneumatic wheels, aimed at building an improved structure with rational metal consumption.

The results of the theoretical and experimental studies have determined the most common estimation cases. They include

the movement over the technological roads' irregularities along the horizontal section of the road – an estimation case of the semi-trailer frame girders, climbing a high curb at an angle was also considered as an estimation case for the semi-trailer frame girders and cross member. Starting a tractor container carrier forward with an insurmountable obstacle in front of the semi-trailer's wheels was analyzed as an estimation case for the cross member of the frame and the suspension attachment units in the semi-trailer of a tractor container carrier.

The result of the reported theoretical and experimental research is the determined load that acts on one cradle structure of the load-carrying system; it forms the torsional rigidity of the frame structure. Underlying the derived mathematical model for each case are the torsional moments and inertia moments that act on the structural elements of the girder in different planes.

The mathematical models have been built on the basis of strength conditions for each estimation case and thus form a mathematical formula for determining the wall thickness of the frame girder. The mathematical notation demonstrates the degree of advantage of climbing a high curb at an angle over other estimation cases for the semitrailer frame member and girders.

The estimation parameters underlying the mathematical model are meant to prevent the breaking and torsion of the semi-trailer frame in a tractor container carrier.

Keywords: transportation technologies, design calculation, kingpin-type frame, estimation scheme, estimated load.

References

- Malinovskiy, E. Yu., Gaytgori, M. M. (1974). *Dinamika samohodnyh mashin s sharnirnoy ramoy (kolebaniya i ustoychivost' dvizheniya)*. Moscow: Mashinostroenie, 172.
- Beihul, O. O., Korniychuk, M. M., Beihul, V. O., Lepetova, H. L. (2013). *Doslidzhennia ta vybir typu nesuchoi systemy avtoskrapovoza z U-podibnoi ramoiu. Nadiinist metalurhiynoho obladnannia. Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. Dnipropetrovsk*, 138–141.
- Veselov, G. P., Gustomyasov, A. N., Kolmakov, V. I. (1988). *Analiticheskoe issledovanie kolebaniy sistemy tyagach-pritsep. Izvestiya vuzov. Mashinostroenie*, 5, 92–97.
- Lobas, L. G., Vashchenko, Yu. L. (1991). *Dinamicheskoe povedenie dvuhzvennogo avtopoezda vblizi granitsy oblasti ustoychivosti. Prikladnaya mehanika*, 27 (12), 85–91.
- Skeinik, R., Petersen, D. *Automated fault detection via selective frequency band alarming in PC-based predictive maintenance systems*. CSI, Knaxville, TN 37923, USA.
- Pozhidaeva, V. (2005). *Determining the Roughness of Contact Surfaces of the Rolling Bearings by the Method of Shock Pulses. World Tribology Congress III, Volume 2*. doi: <https://doi.org/10.1115/wtc2005-64221>
- Liu, G., Parker, R. G. (2008). *Dynamic Modeling and Analysis of Tooth Profile Modification for Multimesh Gear Vibration. Journal of Mechanical Design*, 130 (12). doi: <https://doi.org/10.1115/1.2976803>
- Bently, D. E., Hatch, C. T., Grissom, B. (2002). *Fundamentals of rotating Machinery Diagnostics*. ASME Press, 756. doi: <https://doi.org/10.1115/1.801frm>
- Trebuña, F., Šimčák, F., Bocko, J., Huňady, R., Pástor, M. (2014). *Complex approach to the vibrodiagnostic analysis of excessive vibration of the exhaust fan. Engineering Failure Analysis*, 37, 86–95. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.11.015>
- Puchalski, A. (2015). *A technique for the vibration signal analysis in vehicle diagnostics. Mechanical Systems and Signal Processing*, 56-57, 173–180. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2014.11.007>
- Beihul, O. O., Grischenko, D.I., M. M., Beihul, V. O. (2019). *Formation of loads and determination of the parameters of the drag-carrying system of the articulated container locomotive on pneumatic wheels. Science and technology: mizhvuz. topics. zb. sciences. Rel. 20. DVNZ "PDTU". Mariupol*. 264-272.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.211936

ESTABLISHING PATTERNS IN THE DYNAMIC LOADING ON THE BODY OF A SEMI-WAGON WITH AN ELASTIC MIDDLE PART OF THE GIRDER BEAM (p. 30–37)

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>

Ievgen Medvediev

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University,
Severodonetsk, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8566-9624>

Halyna Shatkovska

Kyiv National University of Technologies and Design,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8875-4557>

To reduce the dynamic loading and prolong the service life of a semi-wagon's girder beam by improving its fatigue strength, it has been proposed to improve its design. A special feature of the girder beam is that its middle part (the distance between the rear supports of auto-couplings) consists of a U-shaped profile, covered with a horizontal sheet above which an I-beam is located. Elastic elements are placed between the horizontal part of the U-shaped profile's shelf and the sheet. Mathematical modeling was performed to substantiate the proposed technical solution. A mathematical model has been constructed describing the fluctuations of the bouncing wagon. It has been established that the maximum vertical acceleration of the body is about 1.8 m/s^2 (0.18 g), and of the bogie – about 9.0 m/s^2 (0.9 g). Based on our calculations, we can conclude that a wagon's movement is assessed as "excellent". In this case, the use of the girder beam with elastic links makes it possible to reduce the dynamic load on a wagon, in comparison with the prototype, by almost 35 %.

The main indicators of the strength of the improved load-bearing structure of a wagon have been determined. The maximum equivalent strains occur, in this case, in the upper horizontal sheet of the girder beam, and are 136.0 MPa, which are lower, by 20 %, than those of the prototype wagon. The results of the modal analysis of the load-bearing structure of a semi-wagon taking into consideration the improvement measures have demonstrated that their natural frequencies of oscillations are within the permissible limits.

Our research could help reduce the dynamic loading on the load-bearing structures of wagons in operation, as well as design the innovative structures of rolling stock.

Keywords: freight wagon, semi-wagon, load-bearing structure, girder beam, dynamic loading, strength, fatigue strength, frequency analysis, transport mechanics, railroad transport.

References

1. astniak, P., Kurčík, P., Pavlík, A. (2018). Design of a new railway wagon for intermodal transport with the adaptable loading platform. *MATEC Web of Conferences*, 235, 00030. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823500030>
2. Stoilov, V., Purgić, S., Slavchev, S.S. (2015). Static strength analysis of the body of a wagon, series Zans. *Journal of The Balkan Tribological Association*, 21, 49–57. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/STATIC-STRENGTH-ANALYSIS-OF-THE-BODY-OF-A-WAGON%2C-Stoilov-Purgi%C4%87/633c5cf68afdd73c979ef9a2c4f505deb600988c>
3. Neduzha, L. O., Shvets, A. O. (2018). Theoretical and experimental research of strength properties of spine beam of freight cars. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 1 (73), 131–147. doi: <https://doi.org/10.15802/stp2018/123457>
4. Boronenko, Y. P., Filippova, I. O. (2017). Selection of constructive solutions of car elements with small empty weight. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 3 (69), 121–129. doi <https://doi.org/10.15802/stp2017/104546>
5. Milovanović, V., Dunić, V., Rakić, D., Živković, M. (2013). Identification causes of cracking on the underframe of wagon for containers transportation – Fatigue strength assessment of wagon welded joints. *Engineering Failure Analysis*, 31, 118–131. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.01.039>
6. Sokolov, A. M., Savushkina, I. V., Novoselov, A. Iu., Korotkov, D. S. (2019). Multifunctional configuration for wagon longitudinal tie rod. *Transport Rossiyskoy Federatsii. Zhurnal o nauke, praktike, ekonomike*, 1 (80), 50–55. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/universalnyy-profil-dlyahrebtovoy-balki-vagonov>
7. 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>
8. 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>
9. Domin, Yu. V., Cherniak, H. Yu. (2003). *Osnovy dynamiky vahoniv*. Kyiv: KUETT, 269.
10. Kir'yanov, D. V. (2006). *Mathcad 13*. Sankt-Peterburg: BHV. Peterburg, 608.
11. D'yakonov, V. (2000). *MATHCAD 8/2000: spetsial'niy spravochnik*. Sankt-Peterburg: Piter, 592.
12. 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
13. Fomin, O. V. (2015). Increase of the freight wagons ideality degree and prognostication of their evolution stages. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 3, 68–76. Available at: <http://nv.nmu.org.ua/index.php/en/monographs-and-innovations/monographs/1078-engcat/archive/2015/contents-no-3-2015/geotechnical-and-mining-mechanical-engineering-machine-building/3040-increase-of-the-freight-wagons-ideality-degree-and-prognostication-of-their-evolution-stages>
14. 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>
15. 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>
16. DSTU 7598:2014. Freight wagons. General requirements to calculation and designing of the new and modernized 1520 mm gauge wagons (non-self-propelled) (2015). Kyiv, 162.
17. GOST 33211-2014. Freight wagons. Requirements to structural strength and dynamic qualities (2016). Moscow, 54.
18. Alyamovskiy, A. A. (2007). *SolidWorks/COSMOSWorks 2006–2007. Inzhenerniy analiz metodom konechnyh elementov*. Moscow, 784.
19. 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>
20. 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. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14 (21), 3747–3752. Available at: http://www.arnpjournals.org/jeas/research_papers/rp_2019/jeas_1119_7989.pdf
21. 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>
22. 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>
23. Lukin, V. V., Shadur, L. A., Koturanov, V. I., Hohlov, A. A., Anisimov, P. S. (2000). *Konstruirovaniye i raschet vagonov*. Moscow: UMK MPS Rossii, 731.
24. EN 12663-2:2010. Railway applications - structural requirements of railway vehicle bodies - Part 2: Freight wagons.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.213776

PATTERNS IN THE DISTRIBUTION CAPACITY OF THIN PLATES UNDER DIFFERENT CONDITION FOR THEIR RESTING ON SUPPORTS (p. 37–44)

Vitaly KozhuskoKharkov National Automobile and Highway University,
Kharkiv, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7044-776X>**Sergey Krasnov**Kharkov National Automobile and Highway University,
Kharkiv, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2375-4273>**Kateryna Berezhna**Kharkov National Automobile and Highway University,
Kharkiv, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6857-5749>**Serhii Oksak**Kharkov National Automobile and Highway University,
Kharkiv, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3084-3469>**Roman Smolyanyuk**Kharkov National Automobile and Highway University,
Kharkiv, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7087-7834>

This paper reports a study into the distribution capacity of a flexible plate in different cross-sections exposed to the external vertical concentrated forces applied in any place of its area. A plate with one pinched side and a series of racks arranged at any distance from the pinching has been considered. In terms of the theory of elasticity and mathematics, solving this problem poses significant difficulties. This study found that a lateral distribution coefficient could be used to simplify calculations aimed at determining the stressed-strained state of the system. In determining the stressed-strained state of the plate, the calculation method described in work [1] was applied. The plate is cut into a series of longitudinal strips that represent, from the standpoint of construction mechanics, a console strip with one pinched end and resting on a stationary support located at any distance from the pinching. It has been revealed that the distribution capacity of the examined plate in the same cross-section depends insignificantly on the point of application of the concentrated load along the length of the longitudinal strip (between 2.6 and 6.7 %). The distribution capacity in different cross-sections does differ greatly (in the range of 10 to 30 %). The result of this study is the proposed unified and easy-to-implement method of calculating plates under any conditions for their resting on supports and when exposed to any external loads. There is also no difficulty in calculating the plates backed by edges in both directions. Other estimation methods in these cases require a different mathematical approach, and, for the case of a series of external loads, or under difficult plate rest conditions, the issue relating to the stressed-strained state of the system remains open.

Keywords: longitudinal strip, transverse strip, fictitious pinching, system of equation, lateral distribution coefficient.

References

- Kozhushko, V. P. (2010). Modeliuvannia prolotnykh budov mostiv. Kharkiv: KhNADU, 196.
- Maslennikov, A. M. (1987). Raschet stroitel'nykh konstruktsiy chislennymi metodami. Leningrad: Izd-vo Leningr. un-ta, 224.
- Rabotnov, Yu. N. (1988). *Mehanika deformiruemogo tverdogo tela*. Moscow: Nauka, 712.
- Gabbasov, R. F., Anh, H. T., Anh, N. H. (2014). Comparison of results of calculation of thin flexible slabs with the use of generalized equations of finite-difference method (FDM) and method of successive approximations (MSA). *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 1, 62–64. Available at: <http://www.pg1923.ru/archiv/2014/01/16.pdf>
- Ignat'ev, F. V. (2002). Primenenie MKE v smeshannoy forme pri raschete tonkih plastin. *Vestnik Volgograd. gos. arhit.-stroit. akad. Seriya: Estestvennye nauki*, 2, 251–255.
- Zaporozhets, E. V., Zaporozhets, V. B., Frolova, L. V. (2002). Nekotorye osobennosti rascheta balochnykh plastin i balok pri bol'shih progibah. *Visnyk Prydnipr. derzh. akad. bud-va ta arkhitekt., 6*, 22–27.
- Ignat'ev, A. V., Ignat'ev, V. A., Gamzatova, E. A. (2018). Analysis of thin plates with excluding the displacements of the finite element as an absolutely rigid body by the fem in the form of a classical mixed method. *News of higher educational institutions. Construction*, 3, 5–13. Available at: [http://izvuzstr.sibstrin.ru/uploads/vorotnikov/%E2%84%96-03-\(2018\).pdf](http://izvuzstr.sibstrin.ru/uploads/vorotnikov/%E2%84%96-03-(2018).pdf)
- Akimov, P. A., Negrozov, O. A. (2016). About one sample of plate analysis based on combined application of finite element method and discrete-continual finite element method. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 12 (2), 14–41.
- Akimov, P. A., Mozgaleva, M. L., Sidorov, V. N., Mojtaba Aslami, Negrozov, O. A. (2014). Advanced wavelet-based discrete-continual finite element method for local plate analysis. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 10 (2), 47–55.
- Timoshenko, S., Woinowsky-Krieger, S. (1966). *Theory of Plates and Shells*. Moscow: Nauka, 636. Available at: http://books.totallarch.com/theory_of_plates_and_shells_timoshenko
- Rektoris, K. (1985). *Variatsionnye metody v matematicheskoy fizike i tehnike*. Moscow: Mir, 590.
- Manuylov, G. A. (2017). The approximate solution for plates using modified rayleigh-ritz method. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 13 (4), 121–127. doi: <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2017-13-4-121-127>
- Pradhan, K. K., Chakraverty, S. (2015). Static analysis of functionally graded thin rectangular plates with various boundary supports. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 15 (3), 721–734. doi: <https://doi.org/10.1016/j.acme.2014.09.008>
- Galerkin, B. G. (1953). *Sobranie sochineniy. Vol. 2*. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 440.
- Vaynberg, D. V., Vaynberg, E. D. (1959). *Plastiny, diski, balki-stenki (prochnost', ustoychivost' i kolebaniya)*. Kyiv: Gos. izd-vo l-ry po stroitel'stvu i arhitekture USSR, 1049.
- Konchkovskiy, Z. (1984). *Plity. Statische raschety*. Moscow: Stroyizdat, 480.
- Vlasova, E. V. (2003). *Metody rascheta pryamougol'nykh plastin pri izgibe sosredotochennymi silami*. Moscow: Ros. gos. otkr. meh. un-t putey soobshcheniya, 116.
- Kozhushko, V. P., Krasnov, S. N., Berezhnaya, K. V. (2019). Flexible clamped plates with rig, installed under its center. *Naukovyi visnyk budivnytstva*, 98 (4), 314–318.
- Kozhushko, V. P. (2016). Raschet gibkoy plity, odna storona kotoroy zashchemlena, a protivopolozhnaya ee gran' opiraetsya na stoyki. *Avtomobil'nye dorogi i mosty*, 1 (17), 62–66.
- Kozhushko, V. (2015). Flexible plate one side of which is restrained and the opposite one rests on two legs set at the corner points. *Vestnik Har'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*, 71, 54–58. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vhad_2015_71_11

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.212269

DETERMINING MECHANICAL PROPERTIES AT THE SHEAR OF THE MATERIAL OF “T” TYPE PRESSURE FIRE HOSE BASED ON TORSION TESTS (p. 45–55)

Sergii Nazarenko

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

Roman Kovalenko

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

Vitalii Asotskiy

Scientific-Methodical Center of Educational Institutions in the Sphere of Civil Defence, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5403-3156>

Gennadiy Chernobay

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8805-3710>

Andrii Kalynovskiy

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

Ivan Tsebruk

National Academy of National Guard of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4246-8854>

Oleksandr Shapovalov

National Academy of National Guard of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8518-4336>

Igor Shasha

National Academy of National Guard of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7549-3119>

Volodymyr Demianyshyn

National Academy of National Guard of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1734-4021>

Angela Demchenko

Cherkasy Institute of Fire Safety named after the Heroes of
Chernobyl, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6189-5264>

This paper reports the results of experimental studies into determining mechanical properties (elastic and dissipative) at the shear of the material of a pressure fire hose of the “T” type with the internal diameter of 77 mm using torsion tests. During the studies, a series of field experiments have been conducted on the torsion of the pressure fire hose samples with internal hydraulic pressure (P) in a hose of 0.2 MPa (P₁), 0.4 MPa (P₂), and 0.6 MPa (P₃) under conditions of static loading-unloading cycles. The tests consisted of 6 cycles – for each of the (P) loading-unloading cycles, which were carried out at a two-minute interval, the rigidity and elasticity modules at the shear of the material of a hose were determined by means of torsion tests. It was established that the numerical results of mechanical properties depend on the hose load “history”, that is, the elasticity modules increased in the first two, three load cycles, and they stabilized only afterward at the level of 3.04 MPa for P₁, 4.35 MPa for P₂, 4.39 MPa for P₃. The above, together with a significant decrease in residual deformations, strengthens the elastic properties of the fire hose material.

The results of the research have been approximated by the corresponding trend lines. The equation of dependence of the current torque on deformation was determined. The curves of the deformation of samples, which, under the conditions of cyclic loading-unloading, formed hysteresis loops, were established. The resulting hysteresis loops during the study in the first two modes undergo quantitative and qualitative changes, namely, the slope and its area decrease. The similarity of experimental studies at different internal pressures (P) was established.

A change in the properties of the material of a fire hose at the consecutive loading-unloading deformation cycles is reverse, the gaps between the deformation cycles lead to a partial restoration of the mechanical characteristics, approximating them to the original values.

Keywords: pressure fire hose, working pressure, elasticity module, hysteresis, dissipative properties, torsion.

References

- Kovalenko, R., Kalynovskiy, 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>
- Dubinina, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A., Hrytsyna, I., Trigub, V. (2017). Numerical simulation of the creation of a fire fighting barrier using an explosion of a combustible charge. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (90)), 11–16. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.114504>
- Tiutiunyk, V. V., Ivanets, H. V., Tolkunov, I. A., Stetsyuk, E. I. (2018). System approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 1, 99–105. doi: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/7>
- Larin, O., Chernobay, G., Kohanenko, V., Nazarenko, S. (2015). A study of longitudinal stiffness of t-type fire hoses with 77mm diameter with structural elements fire hose. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut»*. Seriya: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiyakh, 39, 41–46.
- Fedorok, G., Molnar, V., Dovica, M., Toth, T., Fabianova, J. (2015). Failure analysis of irreversible changes in the construction of the damaged rubber hoses. *Engineering Failure Analysis*, 58, 31–43. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.08.042>
- Cho, J.-R., Yoon, Y.-H. (2016). Large deformation analysis of anisotropic rubber hose along cyclic path by homogenization and path interpolation methods. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 30 (2), 789–795. doi: <https://doi.org/10.1007/s12206-016-0134-5>
- Cho, J. R., Yoon, Y. H., Seo, C. W., Kim, Y. G. (2015). Fatigue life assessment of fabric braided composite rubber hose in complicated large deformation cyclic motion. *Finite Elements in Analysis and Design*, 100, 65–76. doi: <https://doi.org/10.1016/j.finel.2015.03.002>
- Traxl, R., Mungenast, D., Schennach, O., Lackner, R. (2019). Mechanical performance of textile-reinforced hoses assessed by a truss-based unit cell model. *International Journal of Engineering Science*, 141, 47–66. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijengsci.2019.05.006>
- Motorin, L. V., Stepanov, O. S., Bratolyubova, E. V. (2011). The simplified mathematical model for strength calculation of pressure fire hoses under hydraulic influence. *Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*, 1, 126–133.
- Kobeyeva, N. M., Togatayev, T. U., Yeldiyar, G. K., Kuralbayeva, A. N., Zholayeva, N. Kh., Sadyrbayeva, I. R. (2016). Geometrical densities according to warp and weft yarns of fabric reinforcing framework of fire hoses. *Science and world*, 1 (5 (33)), 90–91.
- Larin, O. O. (2015). Probabilistic Model of Fatigue Damage Accumulation in Rubberlike Materials. *Strength of Materials*, 47 (6), 849–858. doi: <https://doi.org/10.1007/s11223-015-9722-3>
- Larin, A. A., Vyazovichenko, Y. A., Barkanov, E., Itskov, M. (2018). Experimental Investigation of Viscoelastic Characteristics of Rubber-Cord Composites Considering the Process of Their Self-Heating. *Strength of Materials*, 50 (6), 841–851. doi: <https://doi.org/10.1007/s11223-019-00030-7>
- Larin, O., Morozov, O., Nazarenko, S., Chernobay, G., Kalynovskiy, A., Kovalenko, R. et. al. (2019). Determining mechanical properties of a pressure fire hose the type of «T». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (102)), 63–70. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184645>
- Haseeb, A. S. M. A., Jun, T. S., Fazal, M. A., Masjuki, H. H. (2011). Degradation of physical properties of different elastomers upon exposure to palm biodiesel. *Energy*, 36 (3), 1814–1819. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.12.023>

15. Lee, G.-C., Kim, H.-E., Park, J.-W., Jin, H.-L., Lee, Y.-S., Kim, J.-H. (2011). An experimental study and finite element analysis for finding leakage path in high pressure hose assembly. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 12 (3), 537–542. doi: <https://doi.org/10.1007/s12541-011-0067-y>
16. Pavloušková, Z., Klakurková, L., Man, O., Čelko, L., Švejcar, J. (2015). Assessment of the cause of cracking of hydraulic hose clamps. *Engineering Failure Analysis*, 56, 14–19. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.05.014>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.213476

**INVARIANT DIFFERENTIAL GENERALIZATIONS
IN PROBLEMS OF THE ELASTICITY THEORY AS
APPLIED TO POLAR COORDINATES (p. 56–73)**

Valeriy Chigirinsky

Rudny Industrial Institute, Rudny, Republic of Kazakhstan

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5887-2747>

Olena Naumenko

Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9532-1493>

The method of argument functions has become famous for solving problems of continuum mechanics. The solution of problems of the elasticity theory in polar coordinates was the further development of this method. The same approaches are applied to solving problems of the theory of plasticity, the theory of elasticity, and the theory of dynamic processes. If regularities of the solution are determined correctly, then they should be continued in other fields including the problems of the theory of elasticity in polar coordinates.

The proposed approach features finding not the solution itself but the conditions for its existence. These conditions may include differential or integral relations which make it possible to close the solution in a general form. This becomes possible when additional functions are introduced into consideration or the argument functions of coordinates of the deformation zone. Basic dependences that satisfy the boundary or edge conditions as well as the functions that simplify the solution of the problem in general should be the carriers of the proposed argument functions. For various reasons, two basic dependences were used in the solution: trigonometric and exponential. Their arguments are two unknown argument functions.

In the process of transformations, a mathematical connection was established between them in a form of the Cauchy-Riemann relations which had a stable tendency to be repeated in problems of the continuum mechanics. From these positions, the flat problem was solved in the most detailed way, tested, and compared with the studies of other authors.

By reducing the solution to a particular result, a way to classical solutions was found which confirms its reliability. The result obtained is useful and important since it becomes possible to solve an extensive class of axisymmetric applied problems using the method of argument functions of a complex variable.

Keywords: generalized approaches, argument functions, polar coordinates, Cauchy-Riemann relations, Laplace equations.

References

1. Chigurinski, V. (1999). The study of stressed and deformed metal state under condition of no uniform plastic medium flow. *Metalurgija*, 38 (1), 31–37.
2. Chygyryns'kyy, V. V. (2004). Analysis of the state of stress of a medium under conditions of inhomogeneous plastic flow. *Metalurgija*, 43 (2), 87–93.
3. Chigirinsky, V. V., Legotkin, G. I., Slepynin, A. G., Kozlov, V. I., Dragobetsky, V. V. (2015). Mechanisms of plastic deformation in case of production of thin-walled rolled stock of the special purpose. *Metallurgical and Mining Industry, Dnipropetrovsk*, 11, 222–230.
4. Chigirinsky, V., Putnoki, A. (2017). Development of a dynamic model of transients in mechanical systems using argument-functions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (87)), 11–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101282>
5. Chygyryns'kyy, V. V., Shevchenko, V. G., Mamuzic, I., Belikov, S. B. (2010). A new solution of the harmonic-functions in the theory of elasticity. *Materials and technology*, 44 (4), 219–222.
6. Chigirinsky, V., Naumenko, O. (2019). Studying the stressed state of elastic medium using the argument functions of a complex variable. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (101)), 27–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.177514>
7. Tihonov, A. N., Samarskiy, A. A. (1977). *Urvneniya matematicheskoy fiziki*. Moscow: Nauka, 735.
8. Sedov, L. I. (2004). *Mehanika sploshnoy sredy*. Sankt-Peterburg: Lan', 560.
9. Mushelishvili, N. I. (1966). *Nekotorye osnovnye zadachi matematicheskoy teorii uprugosti*. Moscow: Nauka, 709.
10. Lur'e, A. I. (1979). *Teoriya uprugosti*. Moscow: Nauka, 939.
11. Timoshenko, S. P., Gud'er, Dzh. (1979). *Teoriya uprugosti*. Moscow: «Nauka», 560.
12. Belmas, I. V., Kolosov, D. L., Onyshchenko, S. V. (2018). Stress-strain state of rubber-cable tractive element of tubular shape. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 60–69. doi: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-2/5>
13. Pozharskiy, D. A. (2017). Kontaktnaya zadacha dlya ortotropnogo poluprostranstva. *Mehanika tverdogo tela*, 3, 100–108.
14. Georgievskiy, D. V., Tlyustangelov, G. S. (2017). Eksponentzial'nye otsenki vozmushcheniy zhestkoplachesticheskogo rastekaniya-stoka kol'tsa. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Mehanika tverdogo tela*, 4, 135–144.
15. Vasil'ev, V. V., Lurie, S. A. (2017). New Solution of Axisymmetric Contact Problem of Elasticity. *Mechanics of Solids*, 52 (5), 479–487. doi: <https://doi.org/10.3103/s0025654417050028>
16. Ike, C. C. (2019). Hankel transformation method for solving the Westergaard problem for point, line and distributed loads on elastic half-space. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 16 (1). doi: <https://doi.org/10.1590/1679-78255313>
17. Georgievskii, D. V. (2014). Compatibility equations in systems based on generalized Cauchy kinematic relations. *Mechanics of Solids*, 49 (1), 99–103. doi: <https://doi.org/10.3103/s0025654414010117>
18. Sneddon, I. N., Berri, D. S.; Grigolyuka, E. I. (Ed.) (1961). *Klasicheskaya teoriya uprugosti*. Moscow: Gos. izd-vo fiz.-mat. litry, 219.
19. Maciolka, P., Jedrzejewski, J. (2017). Evaluation of different approaches to 3d numerical model development of the contact zone between elementary asperities and flat surface. *Journal of Machine Engineering*, 4 (17), 40–53. doi: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0010.7004>
20. Stampoulouglou, I. H., Theotokoglou, E. E. (2009). Additional Separated-Variable Solutions of the Biharmonic Equation in Polar Coordinates. *Journal of Applied Mechanics*, 77 (2). doi: <https://doi.org/10.1115/1.3197157>
21. Qian, H., Li, H., Song, G., Guo, W. (2013). A Constitutive Model for Superelastic Shape Memory Alloys Considering the Influence of Strain Rate. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013, 1–8. doi: <https://doi.org/10.1155/2013/248671>

22. El-Naaman, S. A., Nielsen, K. L., Niordson, C. F. (2019). An investigation of back stress formulations under cyclic loading. *Mechanics of Materials*, 130, 76–87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2019.01.005>
23. Lopez-Crespo, P., Camas, D., Antunes, F. V., Yates, J. R. (2018). A study of the evolution of crack tip plasticity along a crack front. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 98, 59–66. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2018.09.012>
24. Li, J., Zhang, Z., Li, C. (2017). Elastic-plastic stress-strain calculation at notch root under monotonic, uniaxial and multiaxial loadings. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 92, 33–46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2017.05.005>
25. Pathak, H. (2017). Three-dimensional quasi-static fatigue crack growth analysis in functionally graded materials (FGMs) using coupled FE-XEFG approach. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 92, 59–75. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2017.05.010>
26. Correia, J. A. F. O., Huffman, P. J., De Jesus, A. M. P., Ciceiro, S., Fernández-Canteli, A., Berto, F., Glinka, G. (2017). Unified two-stage fatigue methodology based on a probabilistic damage model applied to structural details. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 92, 252–265. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2017.09.004>
27. Sinekop, N. S., Lobanova, L. S., Parhomenko, L. A. (2015). *Metod R-funktsiy v dinamicheskikh zadachah teorii uprugosti*. Kharkiv: KhGUPT, 95.
28. Radeev, Yu. N. (2007). *Prostranstvennaya zadacha matematicheskoy teorii plastichnosti*. Samara: Iz-vo Samarskiy universitet, 464.
29. Mehtiev, M. F. (2008). *Asimptoticheskiy analiz nekotorykh prostranstvennykh zadach teorii uprugosti dlya polykh tel*. Baku: NAN Azerbaydzhana, 320.
30. Krupoderov, A. V., Shcherbakov, S. S. (2013). Reshenie nekotorykh dinamicheskikh zadach teorii uprugosti metodom granichnykh elementov. *Teoreticheskaya i prikladnaya mehanika*, 28, 294–300.
31. Hussein, N. S. (2014). Solution of a Problem Linear Plane Elasticity with Mixed Boundary Conditions by the Method of Boundary Integrals. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 1–11. doi: <https://doi.org/10.1155/2014/323178>
32. Malinin, N. N. (1975). *Prikladnaya teoriya plastichnosti i polzuchesti*. Moscow: Mashinostroenie, 400.
33. Papargyri-Beskou, S., Tsinopoulos, S. (2014). Lamé's strain potential method for plane gradient elasticity problems. *Archive of Applied Mechanics*, 85 (9-10), 1399–1419. doi: <https://doi.org/10.1007/s00419-014-0964-5>
34. Zhemochkin, B. N. (1948). *Teoriya uprugosti*. Moscow: Stroyvoenmorizdat, 240.
35. Nikiforov, S. N. (1955). *Teoriya uprugosti i plastichnosti*. Moscow: GILSI, 284.
36. Bezuhov, N. I. (1968). *Osnovy teorii uprugosti, plastichnosti i polzuchesti*. Moscow: Vysshaya shkola, 512.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.213795

DEVELOPMENT OF A METHOD OF EXTENDED CELLS FOR THE FORMULATION OF BOUNDARY CONDITIONS IN NUMERICAL INTEGRATION OF GAS DYNAMICS EQUATIONS IN THE DOMAINS OF A CURVILINEAR SHAPE (p. 74–82)

Ivan Dubrovskiy

FLIGHT CONTROL LLC, Dnipro, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0707-0074>

Valeriy Bucharskiy

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

A method of extended cells for the formulation of boundary conditions in the numerical integration of the Euler equations in domains with curvilinear boundaries for the cases of one-dimensional and two-dimensional compressible gas flows has been proposed in this study. The proposed method is based on the use of the explicit Godunov type finite volume method on a regular rectangular Cartesian grid. The essence of the extended cell method is that when integrating the basic equations of gas dynamics in a fractional cell, numerical fluxes are calculated through the sides of the new extended cell. This new cell is constructed tangentially to the curved boundary and has a size no less than the cell size in the regular domain. Parameters inside the new cell are calculated as mean integral values over the area of the neighboring regular cells included in it. In this case, when choosing a time step in accordance with the Courant condition, the stability of the method in the main computational domain is preserved both when integrating fractional cells and when integrating regular cells. Thanks to this approach, the proposed method has low requirements for computing resources, the ability to generalize for three-dimensional space and increase the order of accuracy without major modifications of the algorithm.

To test the proposed method, solutions were obtained for the generally accepted test problems of gas dynamics: normal and double Mach reflection of a shock wave from a plane wall. The choice of the time step was made in accordance with the Courant condition in regular finite volumes. The results obtained have made it possible to assess the convergence of the proposed method and their comparison with the results of calculations using other methods have shown a good quantitative and qualitative agreement.

Keywords: computational gas dynamics, finite volume method, Cartesian grids, extended cells.

References

1. Moukalled, F., Mangani, L., Darwish, M. (2015). The finite volume method in computational fluid dynamics. An Advanced Introduction with OpenFOAM® and Matlab. Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-16874-6>
2. Blazek, J. (2015). *Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications*. Elsevier, 466. doi: <https://doi.org/10.1016/c2013-0-19038-1>
3. Chi, C., Lee, B. J., Im, H. G. (2016). An improved ghost-cell immersed boundary method for compressible flow simulations. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 83 (2), 132–148. doi: <https://doi.org/10.1002/fld.4262>
4. Berger, M. (2017). Cut Cells. *Handbook of Numerical Methods for Hyperbolic Problems - Applied and Modern Issues*, 1–22. doi: <https://doi.org/10.1016/bs.hna.2016.10.008>
5. Sidorenko, D. A., Utkin, P. S. (2018). A Cartesian grid method for the numerical modeling of shock wave propagation in domains of complex shape. *Num. Meth. Prog.*, 17 (4), 353–364.
6. Bennett, W. P., Nikiforakis, N., Klein, R. (2018). A moving boundary flux stabilization method for Cartesian cut-cell grids using directional operator splitting. *Journal of Computational Physics*, 368, 333–358. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2018.04.048>
7. Berger, M. J., LeVeque, R. J. (1990). Stable boundary conditions for Cartesian grid calculations. *Computing Systems in Engineering*, 1 (2-4), 305–311. doi: [https://doi.org/10.1016/0956-0521\(90\)90016-e](https://doi.org/10.1016/0956-0521(90)90016-e)

8. Berger, M., Helzel, C. (2012). A Simplified h-box Method for Embedded Boundary Grids. *SIAM Journal on Scientific Computing*, 34 (2), A861–A888. doi: <https://doi.org/10.1137/110829398>
9. Ferziger, J. H., Milovan, P., Street, R. L. (2020). *Computational Methods for Fluid Dynamics*. Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-99693-6>
10. Chung, T. J. (2010). *Computational Fluid Dynamics*. Cambridge University Press. doi: <https://doi.org/10.1017/cbo9780511780066>
11. Courant, R., Friedrichs, K., Lewy, H. (1967). On the Partial Difference Equations of Mathematical Physics. *IBM Journal of Research and Development*, 11 (2), 215–234. doi: <https://doi.org/10.1147/rd.112.0215>
12. Loytsyanskiy, L. G. (2003). *Mehanika zhidkosti i gaza*. Moscow: Drofa, 840.
13. Bucharskiy, V. L. (2007). Metod sovместnoy approksimatsii postroeniya raznostnyh shem dlya resheniya uravneniy v chastnyh proizvodnyh. *Tekhnicheskaya mehanika*, 1, 129–138.
14. Woodward, P., Colella, P. (1984). The numerical simulation of two-dimensional fluid flow with strong shocks. *Journal of Computational Physics*, 54 (1), 115–173. doi: [https://doi.org/10.1016/0021-9991\(84\)90142-6](https://doi.org/10.1016/0021-9991(84)90142-6)

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.212005

A STUDY OF THE EFFECT OF RECESSES ON THE MOTION RESISTANCE OF SUBMARINES BY METHODS OF COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (p. 82–89)

Julia Bodnarchuk

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,
Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3551-1452>

Yuriy Korol

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,
Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6588-7798>

Mohammad Moonesun

Malek Ashtar University of Technology, Isfahan, Iran

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6507-0956>

A new method of reducing the resistance of submarines is presented, which consists in installing special circular recesses on its surface in the stern. It is found that during the movement, in the recesses there is a macro-vortex flow, in which pressure decreases significantly. This phenomenon affects the characteristics of the boundary layer and in general the pressure distribution on the surface of the hull, i. e. the resistance of the submarine. Using the methods of computational fluid dynamics, the influence of the number and size of the recesses at their fixed location on the resistance of two types of “Lira” and “Gepard” submarines is investigated. The results show that the decrease in resistance increases with increasing Reynolds number and reaches 6 % for “Lira” with 4 recesses with a diameter of $d=0.01 D$ at $Re=1.55 \cdot 10^8$ and 2 % at $Re=1.35 \cdot 10^8$ for “Gepard” with 7 recesses with a diameter of $d=0.01 D$. The effect of the number of cells of the computational grid on the results of calculations in the Flow Simulation (USA, France, Canada) and Flow Vision (Russian Federation) software packages was also studied. The effect of resistance reduction obtained in both software packages is approximately the same, but the absolute values differ due to the small number of cells in Flow Vision, which is due to the limited capabilities of the used 2nd version of this complex. There was

also a slight effect of resistance reduction on the model of the “Persia-110” (Iran) submarine with recesses during towing tests in the research basin at significantly lower Reynolds numbers. Unlike most resistance reduction means, the use of this method does not require significant changes in the design of the housing. This makes it possible to use it both on new facilities and on facilities that have already been commissioned.

Keywords: submarine, macro-vortex means of reducing motion resistance, computational fluid dynamics.

References

1. Moonesun, M., Korol, Y. M., Dalayeli, H. (2015). CFD Analysis on the Bare Hull Form of Submarines for Minimizing the Resistance. *International Journal of Maritime Technology*, 3, 1–16. Available at: http://ijmt.ir/files/site1/user_files_13d531/moonesun-A-10-450-1-97a2052.pdf
2. Moonesun, M., Korol, Y. M., Brazhko, A. (2015). CFD analysis on the equations of submarine stern shape. *Journal of Taiwan Society of Naval Architects and Marine Engineers*, 34 (1), 21–32. Available at: https://www.researchgate.net/publication/283106187_CFD_analysis_on_the_equations_of_submarine_stern_shape
3. Moonesun, M., Korol, Y. M., Nikrasov, V. A., Ursalov, A., Brajzko, A. (2016). CFD analysis of the bow shapes of submarines. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 3 (1), 1–16. Available at: https://www.researchgate.net/publication/331001130_CFD_analysis_of_the_bow_shapes_of_submarines
4. Moonesun, M., Mahdian, A., Korol, Y. M., Dadkhah, M., Javadi, M. M., Brazhko, A. (2016). Optimum L/D for Submarine Shape. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 45 (1), 38–43. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/0bb4/68b6b618d564c401285ecf31129312e677a2.pdf>
5. Anthony, S. (2014). China’s supersonic submarine, which could go from Shanghai to San Francisco in 100 minutes, creeps ever closer to reality. *ExtremeTech*. Available at: <https://www.extremetech.com/extreme/188752-chinas-supersonic-submarine-which-could-go-from-shanghai-to-san-francisco-in-100-minutes-creeps-ever-closer-to-reality#:~:text=Researchers%20in%20China%20are%20reporting,miles%20%E2%80%9494%20in%20just%20100%20minutes>
6. Kukner, A., Duran, A., Cinar, T. (2016). Investigation of flow distribution around a submarine. *Journal of Naval Science and Engineering*, 12 (2), 1–26. Available at: https://www.researchgate.net/publication/313253877_INVESTIGATION_OF_FLOW_DISTRIBUTION_AROUND_A_SUBMARINE
7. Testa, C., Greco, L. (2018). Prediction of submarine scattered noise by the acoustic analogy. *Journal of Sound and Vibration*, 426, 186–218. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2018.04.011>
8. Wang, L. (2017). Numerical Analysis of Wake Field over a Submarine with Full Appendages Based on STAR-CCM+. *DEStech Transactions on Materials Science and Engineering*, (icmse/mce). doi: <https://doi.org/10.12783/dtmse/icmse/mce2017/10852>
9. Mora Paz, J. D., Tascón Muñoz, O. D. (2014). Multiobjective Optimization of a Submarine Hull Design. *Ciencia y Tecnología de Buques*, 7 (14), 27. doi: <https://doi.org/10.25043/19098642.92>
10. Ahmadzadehtalatapeh, M., Mousavi, M. (2015). A Review on the Drag Reduction Methods of the Ship Hulls for Improving the Hydrodynamic Performance. *International Journal of Maritime Technology*, 4, 51–64. Available at: http://ijmt.ir/browse.php?a_id=428&slc_lang=en&sid=1&printcase=1&hbnr=1&hmb=1
11. Aoki, K., Muto, K., Okanaga, H., Nakayama, Y. (2009). Aerodynamic characteristic and flow pattern on dimples structure of a sphere. 10th International Conference on Fluid Control,

- Measurements and Visualization. Available at: <http://www.ihed.ras.ru/fluome10/cd/papers/221.pdf>
12. Tai, C.-H., Leong, J.-C., Lin, C.-Y. (2007). Effects of golf ball dimple configuration on aerodynamics, trajectory, and acoustics. *Journal of Flow Visualization and Image Processing*, 14 (2), 183–200. doi: <https://doi.org/10.1615/jflowvisimageproc.v14.i2.40>
 13. Donnelly, K. J. (2009). *Reduction of Ship Resistance through Induced Turbulent Boundary Layers*. Melbourne, 74. Available at: <http://my.fit.edu/~swood/Reduction%20of%20Ship%20Resistance%20through%20Induced%20Turbulent%20Boundary%20Layers.pdf>
 14. Korol, Yu. M., Bodnarchuk, Yu. S. (2018). Pat. No. 134146 UA. Sposib rehulivannia rozpodilu tysku na zmocheniy poverkhni sudna. No. u201808745; declared: 15.08.2018; published: 10.05.2019, Bul. No. 9.
 15. Praveen, P., Krishnankutty, P. (2013). Study on the effect of body length on the hydrodynamic performance of an axisymmetric underwater vehicle. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 42 (8), 1013–1022. Available at: https://www.researchgate.net/publication/289737121_Study_on_the_effect_of_body_length_on_the_hydrodynamic_performance_of_an_axisymmetric_underwater_vehicle
 16. Vali, A., Saranjam, B., Kamali, R. (2018). Experimental and Numerical Study of a Submarine and Propeller Behaviors in Submergence and Surface Conditions. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 11 (5), 1297–1308. doi: <http://doi.org/10.29252/jafm.11.05.28693>
 17. Hodkost' podvodnyh lodok. Available at: <https://znatock.org/s69t1.html>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.213724

RESEARCH OF ANTI-RESONANCE THREE-MASS VIBRATORY MACHINE WITH A VIBRATION EXCITER IN THE FORM OF A PASSIVE AUTO-BALANCER (p. 89–97)

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>

Vladimir Pirogov

Central Ukrainian National Technical University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5843-4552>

Volodymyr Amosov

Central Ukrainian National Technical University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0154-2886>

Petro Luzan

Central Ukrainian National Technical University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1819-999X>

A three-mass anti-resonance vibratory machine with a vibration exciter in the form of a passive auto-balancer has been analytically synthesized. In the vibratory machine, platforms 1 and 2 are visco-elastically attached to platform 3. Platform 3 is

visco-elastically attached to the base. The motion of loads relative to the auto-balancer housing is hindered by the forces of viscous resistance.

A theoretical study has shown that the vibratory machine possesses three resonance frequencies and three corresponding forms of platforms' oscillations. Values for the parameters of supports that ensure the existence of an anti-resonance form of motion have been analytically selected. Under an anti-resonance form, platform 3 is almost non-oscillating while platforms 1 and 2 oscillate in the opposite phase.

In the vibratory machine, platform 1 can be active (working), platform 2 will then be reactive (a dynamic vibration damper), and vice versa. At the same time, the vibratory machine will operate when mounting a vibration exciter both on platform 1 and platform 2.

An anti-resonance form would occur when the loads get stuck in the vicinity of the second resonance frequency of the platforms' oscillations.

Given the specific parameters of the vibratory machine, numerical methods were used to investigate its dynamic characteristics. Numerical calculations have shown the following for the case of small internal and external resistance forces in the vibratory machine:

- theoretically, there are seven possible modes of load jam;
- the second (anti-resonance) form of platform oscillations is theoretically implemented at load jamming modes 3 and 4;
- jamming mode 3 is locally asymptotically stable while load jamming mode 4 is unstable;
- for the loads to get stuck in the vicinity of the second resonance frequency, one needs to provide the vibratory machine with the initial conditions close to the jamming mode 3, or smoothly accelerate the rotor to the working frequency;
- the dynamic characteristics of the vibratory machine can be controlled in a wide range by changing both the rotor speed and the external and internal forces of viscous resistance.

The results reported here are applicable for the design of anti-resonance three-mass vibratory machines for general purposes.

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

References

1. Kryukov, B. I. (1967). *Dinamika vibratsionnyh mashin rezonansnogo tipa*. Kyiv: Nauk. dumka, 210.
2. Sommerfeld, A. (1904). Beitrage zum dynamischen Ausbay der Festigkeislehre. *Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure*, 48 (18), 631–636.
3. Yaroshevich, N. P., Silivoniuk, A. V. (2013). About some features of run-updynamicof 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
4. Kuzo, I. V., Lanets, O. V., Gurskyi, V. E. (2013). Synthesis of low-frequency resonance vibratory machines with an aero inertia drive. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, 2, 60–67. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2013_2_11
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. Jung, D., DeSmidt, H. (2017). Nonsynchronous Vibration of Planar Autobalancer/Rotor System With Asymmetric Bearing Support. *Journal of Vibration and Acoustics*, 139 (3). doi: <https://doi.org/10.1115/1.4035814>
 8. 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>
 9. 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>
 10. 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>
 11. 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>
 12. Yatsun, V., Filimonikhin, G., Haleeva, A., Krivoblotsky, L., Machok, Y., Mezitis, M. et. al. (2020). Searching for the two-frequency motion modes of a threemass vibratory machine with a vibration exciter in the form of a passive autobalancer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (7 (106)), 103–111. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209269>
 13. 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>
 14. Xiaohao, L., Tao, S. (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.jvejournal.com/article/16559/pdf>
 15. 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/ujmms2017.02.067>
 16. 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/ujmms2018.02.026>
 17. 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.jvejournal.com/article/16483/pdf>
 18. 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. *Avtomatyzatsiya vyrobnychkykh protsesiv u mashynobuduvanni ta prykladobuduvanni*, 53, 84–100. doi: <https://doi.org/10.23939/istcipa2019.53.084>
 19. Solona, O. (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>
 20. 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>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.213525**ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ АРМОВАНОГО ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ТРУБЧАСТИМИ ДРЕНАЖАМИ (с. 6–13)****Й. Й. Лучко, В. В. Ковальчук, І. Б. Кравець, О. М. Гайда, А. М. Онищенко**

Проаналізовано технічний стан земляного полотна залізничної колії та проблеми забезпечення його міцності та стійкості при дії паводкових вод та перезволоження на ділянках колії у процесі експлуатації. У результаті цього встановлено, що розробка методів підвищення несучої здатності земляного полотна є необхідною.

Проведено георадіолокаційні дослідження проблемних ділянок земляного полотна залізничної колії, на основі яких знайдено розподіл неоднорідності земляного полотна у вертикальній площині та межі її розташування. Тому дослідження з використанням георадіолокації дозволяють виявляти приховані дефектні місця земляного полотна без порушення його міцнісних характеристик.

Запропоновано спосіб підвищення несучої здатності хворого земляного полотна залізничної колії із застосуванням комбінованого розташування дренажних труб у вертикальному та горизонтальному напрямках у насипі колії. Особливістю цього способу є можливість відводити воду на різних рівнях залягання поверхневих вод, що дозволяє підвищити несучу здатність хворого земляного полотна.

Проведено дослідження напружено-деформованого стану земляного полотна підсиленого трубчастими дренажами. У результаті чого доведено ефективність застосування трубчастих дренажів для підвищення несучої здатності перезволоженого земляного полотна залізничної колії при дії постійних та тимчасових навантажень.

Результатами проведених досліджень встановлено, що з однієї сторони деформативність земляного полотна підвищується при застосуванні трубчастих дренажів, але це тільки у початковий період їх укладання, проте в подальшій експлуатації, коли вони відводять воду з тіла земляного полотна, навпаки буде підвищуватися несуча здатність земляного полотна за рахунок покращення фізико-механічних властивостей ґрунтів.

Ключові слова: земляне полотно, напруження, деформації, несуча здатність, дренажні труби, метод скінченних елементів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.200527**РОЗРАХУНОК СКЛАДЕНИХ ДЕРЕВО-ЗАЛЗОБЕТОННИХ ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З УРАХУВАННЯМ НЕЛІНІЙНОЇ РОБОТИ З'ЄДНАННЯ (с. 14–21)****С. Є. Шехоркіна, М. В. Савицький, Т. Д. Нікіфорова, К. В. Шляхов, А. О. Мислицька**

Запропоновано метод розрахунку складених дерево-залізобетонних згинальних елементів з урахуванням нелінійної роботи нагельного з'єднання та розтягнутої арматури в плиті. Чинні норми проектування регламентують розрахунок конструкції, виходячи з лінійно-пружної роботи, тоді як закономірність деформування з'єднання під навантаженням має явно виражений нелінійний характер. Розрахункові формули не враховують наявність арматури в плиті, що призводить до нераціонального використання несучих властивостей конструкції.

Запропонована залежність для визначення модуля ковзання. Визначальні коефіцієнти обчислюються на основі нормованих характеристик, наведених в чинних стандартах проектування.

Приведено алгоритм розрахунку складених дерево-залізобетонних згинальних конструкцій, який враховує нелінійний характер деформування з'єднання та арматури в розтягнутій зоні бетонного елемента.

Встановлено, що для розглянутих варіантів дерево-залізобетонних балок нормальні напруження, визначені з використанням запропонованої методики і лінійно-пружної моделі, розрізняються на 1–8 %. При навантаженнях, що відповідають пластичним деформаціям, розрахункові напруження за лінійно-пружною моделлю виявляються заниженими. При величинах навантаження, що перевищують 0,75 кН/м.п. для балки прольотом 3 м та 0,5 кН/м.п. для балки прольотом 5 м, напруження в розтягнутій зоні бетонної плити перевищують міцність бетону на розтяг, в той час як напруження в дерев'яній балці не досягають гранично допустимих значень. Фактично в даному випадку несуча здатність конструкції недовикористана, оскільки в поперечному перерізі з тріщиною зусилля розтягування сприймає арматура.

Виходячи з конструктивних особливостей дерево-залізобетонних перекриттів (товщини плити і захисного шару) виконаний аналіз несучої здатності з урахуванням армування. Встановлено, що несуча здатність плити забезпечує сприйняття розрахункового згинального моменту до навантажень, що викликають руйнування дерев'яної балки. При цьому дотримуються умови раціональної роботи стиснутого бетону і розтягнутої арматури.

Ключові слова: дерево-залізобетонні конструкції, згинальні елементи, нагельного з'єднання, нелінійна робота, армування.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214133

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТУВАЛЬНОГО РОЗРАХУНКУ НА МІЦНІСТЬ БУГЕЛЬНОЇ НЕСУЧОЇ СИСТЕМИ ЗЧЛЕНОВАНОГО КОНТЕЙНЕРОВОЗА (с. 22–29)

О. О. Бейгул, Д. І. Грищенко, В. О. Бейгул, Г. Л. Лепетова, Д. П. Часов, Б. І. Коляда

Розробка методики проектувального розрахунку на міцність нетрадиційної бугельної несучої системи зчленованого контейнеровоза на пневмоколісному ході є важливою і актуальною через унікальність компоновки даного спецавтотранспортного засобу. Мета роботи полягає у розробці методики проектувального розрахунку на міцність бугельної несучої системи зчленованого контейнеровоза на пневмоколісному ході, націлену на створення доведеної конструкції з раціональною металомісткістю.

В результаті проведених теоретичного та експериментального досліджень виділені найпоширеніші розрахункові випадки. Серед них рух на нерівностях технологічних доріг на горизонтальній ділянці шляху – розрахунковий випадок для лонжеронів рами напівпричепи. Також розглянуто косий наїзд на високий бордюр – розрахунковий випадок для лонжеронів та поперечини рами напівпричепи. Проведено аналіз рушання контейнеровоза з місця вперед при непереборній перешкоді перед колесами напівпричепи – розрахунковий випадок для поперечини рами та вузлів кріплення підвіски напівпричепи контейнеровоза.

У результаті проведених теоретичного та експериментального досліджень визначено навантаження, яке діє на один лонжерон несучої системи, саме воно формує крутильну жорсткість конструкції рами. В основу отриманої математичної моделі кожного із випадків лягли круті та інерційні моменти, що діють на конструктивні елементи балки в різних площинах.

Математичні моделі отримані із умов міцності при кожному із розрахункових випадків та формують математичну формулу визначення товщини стінок балок рами. Математичний вираз демонструє ступінь переваги косоного наїзду на високий бордюр над іншими розрахунковими випадками для лонжеронів та поперечини рами напівпричепи.

Закладені у математичну модель розрахункові параметри направлені на попередження розривів та скручування рами напівпричепи контейнеровоза.

Ключові слова: транспортувальні технології, проектувальний розрахунок, бугельна рама, розрахункова схема, розрахункове навантаження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.211936

ВИЯВЛЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ДИНАМІЧНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ КУЗОВА НАПІВВАГОНА З ПРУЖНЬОЮ СЕРЕДНЬОЮ ЧАСТИНОЮ ХРЕБТОВОЇ БАЛКИ (с. 30–37)

О. В. Фомін, А. О. Ловська, Є. П. Медведєв, Г. І. Шатковська

Для зменшення динамічної навантаженості та збільшення терміну експлуатації хребтової балки напіввагона шляхом покращення показників втомної міцності запропоновано удосконалення її конструкції. Особливістю хребтової балки є те, що її середня частина (відстань між задніми упорами автотранспорту) складається з П-подібного профілю, перекритого горизонтальним листом на якому розміщується двотавр. Між горизонтальною частиною полки П-подібного профілю та листом розміщуються пружні елементи. Для обґрунтування запропонованого технічного рішення проведено математичне моделювання. Складено математичну модель, яка описує коливання підсакування вагона. Встановлено, що максимальне вертикальне прискорення кузова складає близько $1,8 \text{ м/с}^2$ ($0,18 \text{ g}$), а візків – близько $9,0 \text{ м/с}^2$ ($0,9 \text{ g}$). На підставі проведених розрахунків можна зробити висновок, що хід вагона оцінюється як “відмінний”. При цьому використання хребтової балки з пружними зв’язками дозволяє зменшити динамічну навантаженість вагона у порівнянні з прототипом майже на 35 %.

Проведено визначення основних показників міцності удосконаленої несучої конструкції вагона. Максимальні еквівалентні напруження при цьому виникають у верхньому горизонтальному листі хребтової балки та складають 136,0 МПа, що нижче на 20 % у порівнянні з вагоном-прототипом. Результати модального аналізу несучої конструкції напіввагона з урахуванням заходів щодо удосконалення показали, що власні частоти коливань знаходяться в межах допустимих.

Проведені дослідження сприятимуть зменшенню динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів в експлуатації, а також створенню іновативних конструкцій рухомого складу.

Ключові слова: вантажний вагон, напіввагон, несуча конструкція, хребтова балка, динамічна навантаженість, міцність, втомна міцність, частотний аналіз, транспортна механіка, залізничний транспорт.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.213776

ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ТОНКИХ ПЛАСТИН ЗА РІЗНИХ УМОВ ОПИРАННЯ (с. 37–44)

В. П. Кожушко, С. М. Краснов, К. В. Бережна, С. В. Оксак, Р. В. Смолянюк

Досліджена розподільна здатність гнучкої пластини у різних поперечних перерізах при дії зовнішніх поперечних зосереджених сил, які діють у будь-яких місцях її площі. Розглянуто пластину з однією затисненою стороною та рядом стійок,

встановлених на будь-якій відстані від затиснення. Вирішення цього завдання з точки зору теорії пружності і математики представляє значні труднощі. У дослідженні встановлено, що для спрощення розрахунків по визначенню напружено-деформованого стану системи можна використовувати коефіцієнт поперечного розподілу. При визначенні напружено-деформованого стану пластини застосований метод розрахунку, що наведено у роботі [1]. Пластина розрізається на ряд поздовжніх смуг, що представляють з точки зору будівельної механіки консольну смугу з одним затисненим кінцем і яка опирається на нерухому опору, розташовану на будь-якій відстані від затиснення. Виявлено, що розподільна здатність даної пластини в одному і тому ж перерізі від місця прикладання зосередженого навантаження по довжині поздовжньої смуги залежить незначно (в межах від 2,6 до 6,7 %). Розподільна здатність у різних поперечних перетинах значно відрізняється (вже в межах від 10 до 30 %). У результаті дослідження запропоновано єдиний і простий в реалізації метод розрахунку пластин при будь-яких умовах їх обпирання на опори і при дії будь-яких зовнішніх навантажень. Не викликає складності розрахунок і пластин, підкріплених ребрами в обох напрямках. При використанні інших методів розрахунку в цих випадках потрібний різний математичний підхід, а при дії ряду зовнішніх навантажень або при складних умовах обпирання пластин питання про напружено-деформований стан системи залишається взагалі відкритим.

Ключові слова: поздовжня смуга, поперечна смуга, фіктивне затиснення, система рівнянь, коефіцієнт поперечного розподілу.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.212269

ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИ ЗСУВІ МАТЕРІАЛУ НАПІРНОГО ПОЖЕЖНОГО РУКАВА ТИПУ «Т» З ВИПРОБУВАНЬ НА КРУЧЕННЯ (с. 45–55)

С. Ю. Назаренко, Р. І. Коваленко, В. В. Асоцький, Г. О. Чернобай, А. Я. Калиновський, І. В. Цебрюк, О. І. Шаповалов, І. К. Шаша, В. М. Дем'янишин, А. В. Демченко

Представлені експериментальні дослідження з визначення механічних властивостей (пружних та дисипативних) при зсуві матеріалу напірного пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм з випробувань на кручення. В ході роботи проведено низку натурних експериментів на кручення зразків напірного рукава з внутрішнім гідравлічним тиском (P) в рукаві 0,2 МПа (P_1), 0,4 МПа (P_2) та 0,6 МПа (P_3) в умовах статичних циклів навантаження-розвантаження. Випробування склалися з 6 циклів – для кожного з (P) навантаження-розвантаження, які проводилися із двохвилинним інтервалом, визначено жорсткість та модулі пружності при зсуві матеріалу рукава з випробувань на кручення. Встановлено, що чисельні результати механічних властивостей залежать від «історії» навантаження рукава, тобто на перших двох, трьох циклах навантаження модулі пружності збільшувалися і лише потім на наступних – стабілізувалися на рівні 3,04 МПа для P_1 , 4,35 МПа для P_2 , 4,39 МПа для P_3 . Вказане, разом із суттєвим зменшенням залишкових деформацій, посилює пружні властивості матеріалу пожежного рукава.

Результати досліджень апроксимовані відповідними лініями трендів. Визначено рівняння залежності діючого крутного моменту від деформації. Встановлено криві деформування зразків, що в умовах циклічного навантаження-розвантаження формували петлі гістерезису. Отримані петлі гістерезису в ході дослідження на перших двох режимах зазнають кількісних та якісних змін, а саме, зменшується нахил та його площа. Встановлено схожість експериментальних досліджень між собою при різних внутрішніх тисках (P).

Зміна властивостей матеріалу пожежного рукава при послідовних циклах деформацій навантаження-розвантаження є зворотною, проміжки між циклами деформування призводять до часткового відновлення механічних характеристик, наближаючи їх до початкових значень.

Ключові слова: напірний пожежний рукав, робочий тиск, модуль пружності, гістерезис, дисипативні властивості, кручення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.213476

ИНВАРИАНТНІ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНІ УЗАГАЛЬНЕННЯ В ЗАДАЧАХ ТЕОРІЇ ПРУЖНОСТІ СТОСОВНО ДО ПОЛЯРНИХ КООРДИНАТ (с. 56–73)

В. В. Чигиринський, О. Г. Науменко

Метод аргумент функцій став відомий при вирішенні задач механіки суцільного середовища. Розвитком методу стало рішення задачі теорії пружності в полярних координатах. Однакові підходи застосовуються до вирішення задач теорії пластичності, пружності і теорії динамічних процесів. Якщо закономірності рішення визначені вірно, то вони повинні мати продовження і в інших напрямках, включаючи задачі теорії пружності в полярних координатах.

Особливістю запропонованого підходу є знаходження не самого рішення, а умов його існування. До таких умов можуть належати диференціальні, або інтегральні співвідношення, які дозволяють замкнути рішення в загальному вигляді. Це стає можливим, коли до розгляду вводяться додаткові функції, або аргумент функції координат осередку деформації. Носіями запропонованих аргумент функцій повинні бути базові залежності, які задовольняють граничним,

або крайовим умовам, а також функції, які спрощують розв'язок задачі в загальному вигляді. В силу різних причин в рішенні були використані дві базові залежності: тригонометрична і експоненціальна. Їхні аргументи – дві невідомі аргумент функції.

У процесі перетворень було встановлено математичний зв'язок між ними у вигляді співвідношень Коші-Рімана, який мав стійку тенденцію повторюватись в задачах механіки суцільного середовища. З цих позицій докладно була вирішена плоска задача, протестована, результат порівняний з дослідженнями інших авторів.

При зведенні рішення до частинного результату отриманий вихід на класичні рішення, що підтверджує його достовірність. Отриманий результат корисний і важливий, тому що з'являється можливість вирішувати великий клас осесиметричних прикладних задач з використанням методу аргумент функцій комплексного змінного.

Ключові слова: узагальнені підходи, аргумент функції, полярні координати, співвідношення Коші-Рімана, рівняння Лапласа.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.213795

РОЗРОБКА МЕТОДУ РОЗШИРЕНИХ ОБ'ЄМІВ ПОСТАНОВКИ ГРАНИЧНИХ УМОВ ПРИ ЧИСЕЛЬНОМУ РІШЕННІ РІВНЯНЬ ГАЗОВОЇ ДИНАМІКИ В ОБЛАСТЯХ СКЛАДНОЇ ФОРМИ (с. 74–82)

І. Д. Дубровський, В. Л. Бучарський

У дослідженні запропонований метод розширених скінченних об'ємів постановки граничних умов при чисельному інтегруванні рівнянь Ейлера в областях з криволінійними границями для одновимірного та двовимірного випадках течії стислого газу. Пропонований метод заснований на застосуванні явного методу скінченних об'ємів типу Годунова на регулярній декартовій прямокутній сітці. Суть методу розширених скінченних об'ємів полягає в тому, що при інтегруванні рівнянь в дробному скінченному об'ємі потоки розраховуються через сторони нового розширеного скінченного об'єму. Цей об'єм будується по дотичній до криволінійної границі і має розмір, не менший розміру скінченного об'єму в регулярній області. Параметри всередині нового об'єму визначаються як середньоінтегральні значення за площею від вхідних в нього сусідніх регулярних об'ємів. В такому випадку, при виборі кроку за часом відповідно до умови Куранта в основній розрахунковій області стійкість методу зберігається як при інтегруванні дробних скінченних об'ємів, так і при інтегруванні регулярних об'ємів. Це дозволяє знизити вимоги до обчислювальних ресурсів, дає можливість узагальнити метод на тривимірний простір і підвищити його порядок точності без серйозних модифікацій алгоритму.

Для перевірки запропонованого методу був отриманий розв'язок загальноприйнятих тестових завдань газової динаміки: нормального і подвійного Маховського відбиття ударної хвилі від плоскої стінки. Вибір кроку за часом проводився відповідно до умови Куранта у регулярних скінченних об'ємах. Ці результати дозволили оцінити збіжність запропонованого методу, а порівняння їх з результатами розрахунків за іншими методами показало добру кількісну і якісну узгодженість.

Ключові слова: обчислювальна газова динаміка, метод кінцевих об'ємів, декартові сітки, розширені об'єми.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.212005

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИЇМОК НА ОПІР РУХУ ПІДВОДНИХ ЧОВНІВ МЕТОДАМИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ГІДРОДИНАМІКИ (с. 82–89)

Ю. С. Боднарчук, Ю. М. Король, М. І. Мунесан

Представлено новий метод зниження опору підводних човнів, який полягає у розташуванні спеціальних кругових виїмок на його поверхні у кормовій частині. Встановлено, що під час руху в виїмках виникає макро-вихровий потік в середині якого суттєво зменшується тиск. Це явище впливає на характеристики прикордонного шару та взагалі на розподіл тиску по поверхні корпусу, тобто і на опір підводного човна. Методами обчислювальної гідродинаміки досліджувався вплив кількості і розмірів виїмок при їх фіксованому розташуванні на опір двох типів підводних човнів «Ліра» та «Гепард». Отримані результати свідчать про те, що зниження опору зростає з ростом числа Рейнольдса та досягає для «Ліри» з 4 виїмками діаметром $d=0.01 D$ – 6 % при $Re=1.55 \cdot 10^8$ і 2 % при $Re=1.35 \cdot 10^8$ для «Гепарда» з 7 виїмками діаметром $d=0.01 D$. Досліджувався також вплив кількості клітинок розрахункової сітки на результати розрахунків в програмних комплексах FlowSimulation (США, Франція, Канада) і FlowVision (Російська Федерація). Ефект зниження опору отримано в обох програмних комплексах приблизно однаковий, але абсолютні значення відрізняються із-за малої кількості клітинок в FlowVision, що пояснюється обмеженими можливостями використаної 2-ї версії цього комплексу. Також виявлено незначний ефект зниження опору на моделі підводного човна «Persia-110» (Іран) з виїмками під час буксирних випробувань в науково-дослідному басейні при суттєво менших числах Рейнольдса. На відміну від більшості засобів зниження опору, використання даного засобу не потребує суттєвих змін в конструкції корпусу. Це дає можливість використовувати його як на нових об'єктах так і на об'єктах, що вже введені в експлуатацію.

Ключові слова: підводний човен, макро-вихровий засіб зниження опору руху, обчислювальна гідродинаміка.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.213724

ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИРЕЗОНАНСНОЇ ТРЬОХМАСОВОЇ ВІБРОМАШИНИ, З ВІБРОЗБУДНИКОМ У ВИГЛЯДІ ПАСИВНОГО АВТОБАЛАНСИРА (с. 89–97)

В. В. Яцун, Г. Б. Філімоніхін, В. В. Пирогов, В. В. Амосов, П. Г. Лузан

Аналітично синтезована трьохмасова антирезонансна вібромашина з вібробудником у вигляді пасивного автобалансира. У вібромашини платформи 1 і 2 пружно-в'язко прикріплені до платформи 3. Платформа 3 пружно-в'язко прикріплена до фундаменту. Руху вантажів щодо корпусу автобалансира перешкоджають сили в'язкого опору.

Теоретичні дослідження показали, що у вібромашини три резонансні частоти і три відповідні форми коливань платформ. Аналітично підібрані значення параметрів опор, що забезпечують існування антирезонансного режиму руху. На антирезонансному режимі платформа 3 практично не коливається, а платформи 1 і 2 коливаються в протифазі.

У вібромашини активної (робочої) може бути платформа 1, тоді платформа 2 буде реактивної (динамічним віброгасником) і навпаки. При цьому вібромашина буде працювати при установці вібробудника як на платформі 1, так і на платформі 2.

Антирезонансний режим буде наступати при застряганні вантажів в околі другої резонансної частоти коливань платформ.

При конкретних параметрах вібромашини, чисельними методами досліджені її динамічні характеристики. Числові розрахунки показали, що в разі малих внутрішніх і зовнішніх сил опору у вібромашини:

- теоретично існують сім можливих режимів застрягання вантажів;
- друга (антирезонансна) форма коливань платформ теоретично реалізується на 3-му і 4-му режимах застрягання вантажів;
- локально асимптотично стійким є 3-й режим застрягання, а 4-й – нестійкий;
- для застрягання вантажів в околі другої резонансної частоти потрібно забезпечувати вібромашині початкові умови, близькі до 3-о режиму застрягання чи плавно розганяти ротор до робочої частоти;
- динамічними характеристиками вібромашини можна управляти в широких межах зміною як швидкості обертання ротора, так зовнішніх і внутрішніх сил в'язкого опору.

Отримані результати застосовні при проектуванні трьохмасових антирезонансних машин широкого призначення.

Ключові слова: інерційний вібробудник, резонансні вібрації, антирезонансна вібромашина, автобалансира, трьохмасова вібромашина, ефект Зомерфельда.