

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.275547

DETERMINING PATTERNS IN LOADING THE BODY OF A GONDOLA WITH SIDE WALL CLADDING MADE FROM CORRUGATED SHEETS UNDER OPERATING MODES (p. 6–14)**Glib Vatulia**Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3823-7201>**Alyona Lovska**Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8604-1764>**Sergiy Myamlin**Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9204-4435>**Andrij Rybin**Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7546-0077>**Volodymyr Nerubatskyi**"PA OWEN" LLC, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4309-601X>**Denys Hordiienko**ELAKS PJSC, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0347-5656>

The object of research is the processes of emergence, perception, and redistribution of loads in the body of a universal railroad gondola with a cladding of corrugated sheets.

To improve the strength of the sheets of cladding, it is proposed to strengthen the most loaded area in terms of height (1/3 of the bottom tie-up) with horizontal corrugations. Determination of the geometric parameters of the corrugation is carried out by the moment of resistance of the sheet. The dynamic load of the gondola body with improved cladding was determined by mathematical modeling. The fluctuations of the jump were taken into consideration, that is, the translational movements of the body relative to the vertical axis. The results of the solution of the mathematical model have made it possible to conclude that the studied dynamics indicators are within the permissible limits while the car movement is estimated as "excellent".

The calculation was performed of the strength of the body of a gondola with improved cladding. It has been established that the strength of the gondola body under the main operating load modes is ensured. According to the results of calculations of static strength, the calculation was performed of the fatigue strength of the gondola body. It must be said that the fatigue strength of the body cladding increases by 3.7 % compared to the typical one.

A feature of the results obtained is that the proposed improvement of the cladding can be carried out not only at the design stage but also during repairs of cars.

The scope of practical use of the results includes the engineering industry, in particular railroad transportation. At the same time, the conditions for the practical application of the research results are compliance with the requirements for loading and unloading operations of gondola cars.

The results of the current research will contribute to devising recommendations for the design of modern structures of gondolas and for improving the efficiency of their operation.

Keywords: gondola load, body strength, cladding resistance momentum, body biaxiality indicator.

References

- Šťastniak, 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>
- Fedosov-Nikonov, D. V., Sulym, A. O., Ilchyshyn, V. V., Safronov, O. M., Kelrikh, M. B. (2020). Study of strength characteristics of the long wheelbase flat cars. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 985 (1), 012029. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/985/1/012029>
- Viznyak, R. I., Gudko, A. V. (2014). Design improvements filler assembly interim rack bar body in order to ensure gondola cars of strength in service. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT*, 147, 18–22. Available at: <http://csw.kart.edu.ua/article/download/74033/69463>
- Fedosov-Nikonov, D. V., Strynzha, A. A., Shamshei, D. A., Poluliakh, V. N., Fedorov, V. V., Shushmarchenko, V. A. (2019). The study of corrosion damage to car components during technical diagnostics. *Visnyk Skhidnoukrajinskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*, 3 (251), 181–185. Available at: <http://dspace.luguniv.edu.ua/xmlui/handle/123456789/4845>
- Baier, A., Majzner, M. (2012). Application of feature based method in constructing innovative sheathing of railway wagons. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 52 (2), 91–98. Available at: <https://delibra.bg.polsl.pl/dlibra/publication/35794/edition/32231>
- Galimova, F., Khurmatov, Y., Abdulloev, M., Jumabekov, B., Sultonaliyev, D., Ergeshova, D. (2021). Modern Gondola with Lightweight Body. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 1043–1050. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-80946-1_94
- Lee, W. G., Kim, J.-S., Sun, S.-J., Lim, J.-Y. (2016). The next generation material for lightweight railway car body structures: Magnesium alloys. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 232 (1), 25–42. doi: <https://doi.org/10.1177/0954409716646140>
- Olmos Irikovich, Z., Rustam Vyacheslavovich, R., Mahmud Lafta, W., Yadgor Ozodovich, R. (2020). Development of new polymer composite materials for the flooring of rail carriage. *International Journal of Engineering & Technology*, 9 (2), 378. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v9i2.30519>
- Patrascu, A. I., Hadar, A., Pastrama, S. D. (2019). Structural Analysis of a Freight Wagon with Composite Walls. *Materiale Plastice*, 57 (2), 140–151. doi: <https://doi.org/10.37358/mp.20.2.5360>
- Buchacz, A., Baier, A., Herbuś, K., Majzner, M., Ociepka, P. (2015). Examination of a Cargo Space of a Freight Wagon Modified with Composite Panels. *Applied Mechanics and Materials*, 809–810, 944–949. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.809-810.944>
- Plączek, M., Wróbel, A., Olesiejuk, M. (2017). Modelling and arrangement of composite panels in modernized freight cars. *MATEC Web of Conferences*, 112, 06022. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711206022>
- Fomin, O., Gorbunov, M., Gerlici, J., Vatulia, G., Lovska, A., Kravchenko, K. (2021). Research into the Strength of an Open Wagon with Double Sidewalls Filled with Aluminium Foam. *Materials*, 14 (12), 3420. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14123420>
- Domin, Yu. V., Cherniak, H. Yu. (2003). *Osnovy dynamiky vahoniv*. Kyiv: KUETT, 269.
- Fomin, O., Lovska, A., Skurikhin, D., Nerubatskyi, V., Sushko, D. (2022). Special Features of the Vertical Loading on a Flat Car Transporting Containers with Elastic-Viscous Links in their Interaction

- Units. 26th International Scientific Conference Transport Means 2022. Kaunas, 629–633.
15. Bohach, I. V., Krakovetskyi, O. Yu., Kylyk, L. V. (2020). Chyselni metody rozvazannia dyferentsialnykh rivniani zasobamy MathCad. Vynnytsia, 106. Available at: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/Bogach_2020_106.pdf
 16. Sobolenko, O. V., Petrechuk, L. M., Ivashchenko, Yu. S., Yehortseva, Ye. Ye. (2020). Metody rishennia matematychnykh zadach u seredovyschi Mathcad. Dnipro, 60. Available at: https://nmetau.edu.ua/file/navch_posibn_mathcad_2020_petrechuk.pdf
 17. Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. EUREKA: Physics and Engineering, 4, 78–89. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
 18. Nerubatskyi, V., Plakhtii, O., Hordiienko, D. (2021). Control and Accounting of Parameters of Electricity Consumption in Distribution Networks. 2021 XXXI International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA). doi: <https://doi.org/10.1109/mma52675.2021.9610907>
 19. Nerubatskyi, V., Plakhtii, O., Hordiienko, D. (2022). Adaptive Modulation Frequency Selection System in Power Active Filter. 2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). doi: <https://doi.org/10.1109/ess57819.2022.9969261>
 20. Kondratiev, A. V., Gaidachuk, V. E. (2021). Mathematical Analysis of Technological Parameters for Producing Superfine Prepregs by Flattening Carbon Fibers. Mechanics of Composite Materials, 57 (1), 91–100. doi: <https://doi.org/10.1007/s11029-021-09936-3>
 21. Vambol, O., Kondratiev, A., Purhina, S., Shevtsova, M. (2021). Determining the parameters for a 3D-printing process using the fused deposition modeling in order to manufacture an article with the required structural parameters. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (1 (110)), 70–80. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.227075>
 22. Harak, S. S., Sharma, S. C., Harsha, S. P. (2014). Structural Dynamic Analysis of Freight Railway Wagon Using Finite Element Method. Procedia Materials Science, 6, 1891–1898. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.221>
 23. Fomin, O., Lovska, A., Khara, M., Nikolaienko, I., Lytvynenko, A., Sova, S. (2022). Adapting the load-bearing structure of a gondola car for transporting high-temperature cargoes. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (7 (116)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253770>
 24. Fomin, O., Lovska, A. (2021). Determination of dynamic loading of bearing structures of freight wagons with actual dimensions. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (7 (110)), 6–14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.220534>
 25. Lovska, A., Fomin, O., Pištěk, V., Kučera, P. (2020). Dynamic Load and Strength Determination of Carrying Structure of Wagons Transported by Ferries. Journal of Marine Science and Engineering, 8 (11), 902. doi: <https://doi.org/10.3390/jmse8110902>
 26. Lovska, A. (2014). Assessment of dynamic efforts to bodies of wagons at transportation with railway ferries. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (4 (69)), 36–41. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.24997>
 27. Panchenko, S., Vatulia, G., Lovska, A., Ravlyuk, V., Elyazov, I., Huseynov, I. (2022). Influence of structural solutions of an improved brake cylinder of a freight car of railway transport on its load in operation. EUREKA: Physics and Engineering, 6, 45–55. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002638>
 28. Panchenko, S., Gerlici, J., Vatulia, G., Lovska, A., Pavliuchenkov, M., Kravchenko, K. (2022). The Analysis of the Loading and the Strength of the FLAT RACK Removable Module with Viscoelastic Bonds in the Fittings. Applied Sciences, 13 (1), 79. doi: <https://doi.org/10.3390/app13010079>
 29. Dižo, J., Harušinec, J., Blatnický, M. (2017). Structural Analysis of a Modified Freight Wagon Bogie Frame. MATEC Web of Conferences, 134, 00010. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713400010>
 30. Dižo, J., Blatnický, M., Steišūnas, S., Skočilasová, B. (2018). Assessment of a rail vehicle running with the damaged wheel on a ride comfort for passengers. MATEC Web of Conferences, 157, 03004. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815703004>
 31. Koziar, M. M., Feshchuk, Yu. V., Parfeniuk, O. V. (2018). Kompiuterna hrafika: SolidWorks. Kherson: Oldi-plius, 252. Available at: <https://ep3.nuwm.edu.ua/22175/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%27%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%20%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%96%D0%BA%D0%B0.pdf>
 32. Pustiulha, S. I., Samostian, V. R., Klak, Yu. V. (2018). Inzhenerna hrafika v SolidWorks. Lutsk: Vezha, 172. Available at: <https://lib.lntu.edu.ua/sites/default/files/2021-02/%D0%86%D0%BD%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%20%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%96%D0%BA%D0%B0%20%D0%B2%20SolidWorks.pdf>
 33. Chykhlyadze, E. D. (2011). Opir materialiv. Kharkiv: UkrDAZT, 360. Available at: <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/4985>
 34. Shvabiuk, V. I. (2016). Opir materialiv. Kyiv: Znannia, 400. Available at: <https://btpm.nmu.org.ua/ua/download/navch-posib/%D0%A8%D0%B2%D0%B0%D0%B1%D1%8E%D0%BA%D0%9E%D0%9C.%D0%9F%D1%96%D0%B4%D1%80%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277911

DETERMINATION OF THE FATIGUE BEHAVIOR OF THE COMPOSITE SINGLE-STRINGER STRUCTURE BASED ON THE QUASI-STATIC METHOD (p. 15–23)

Ali Talib Shomran

Al-Furat Al-Awsat Technical University, Mussaib, Babil, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6923-0910>

Batool Mardan Faisal

Wasit University, Wasit, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0024-274X>

Emad Kamil Hussein

Al-Furat Al-Awsat Technical University, Mussaib, Babil, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3831-1659>

Thiago Santos

Federal University of Rio Grande do Norte,
 Rio Grande do Norte, Brazil
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0791-2059>

Kies Fatima

University of Milano-Bicocca, Milan, Italy
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0230-0328>

In this investigation, the Mechanical Behavior of the composite Single-Stringer structure was subjected to numerical analysis in order to better understand its properties. As the primary material for the modeling process, the carbon-epoxy IM7/8552 with quasi-isotropic Layups has been utilized. The outcomes of the numerical analysis that were carried out on the structure while it was in its static state have been put into the structural tool that was developed by the ANSYS programme. The fundamental boundary conditions have been defined on the basis of the information that was received from the testing. Static forces with a combined magnitude of 13.7 kN are being applied to the composite Single-Stringer structure. Shear stresses, direction deformation, von mises stresses, and total deformation have all been shown to have an effect on a material's mechanical behaviour, and this effect has been demonstrated. The calculations indicate that there is a maximum amount of bending that can take place as a direct result of

the load that is being applied, and that amount is equal to 0.0147. The maximum amount of bending that can take place as a direct result of the load that is being applied is equal to 0.0147. As a consequence of the application of 13.7 kN of pressure, the von Mises stress, which is also frequently referred to as comparable stresses, has reached 51.9 MPa. Shear stresses have been estimated in three distinct plans, and it was discovered that the shear stress that was applied to the XY plane achieved a maximum of 15 MPa, but the shear stress that was applied to the XZ plane reached a maximum of 9.8 MPa. This was found. Both aeroplanes were put through precisely the same amount of tension at the exact same time. At this time, the shear stress on the plane YZ has reached a level of 1.5 MPa.

Keywords: directional deformation, shear analysis, general deformation, equivalent stresses, composite structure.

References

- Raimondo, A., Doesburg, S. A., Bisagni, C. (2020). Numerical study of quasi-static and fatigue delamination growth in a post-buckled composite stiffened panel. *Composites Part B: Engineering*, 182, 107589. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107589>
- Zalameda, J., Winfree, W. (2018). Detection and Characterization of Damage in Quasi-Static Loaded Composite Structures using Passive Thermography. *Sensors*, 18 (10), 3562. doi: <https://doi.org/10.3390/s18103562>
- Zalameda, J. N., Winfree, W. P., Horne, M. R. (2018). Detection of Damage During Quasi-Static Loading of a Single Stringer Panel Using Passive Thermography and Acoustic Emission. *Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series*, 77–86. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-95074-7_15
- Raimondo, A., Mendez, J. P., Bisagni, C. (2021). Experimental study on post-buckled composite single-stringer specimens with initial delamination under fatigue loads. *American Society for Composites 2021*. doi: <https://doi.org/10.12783/asc36/35772>
- Winfree, W. P., Zalameda, J. N., Horne, M. R. (2019). Simulations of thermal signatures of damage measured during quasi-static loading of a single stringer panel. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/1.5099849>
- Milanoski, D., Galanopoulos, G., Broer, A., Zarouchas, D., Loutas, T. (2021). A Strain-Based Health Indicator for the SHM of Skin-to-Stringer Disbond Growth of Composite Stiffened Panels in Fatigue. *European Workshop on Structural Health Monitoring*, 626–635. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-64594-6_61
- Horne, M. R., Zalameda, J. N. (2018). Real time detection of damage during quasi-static loading of a single stringer panel using passive thermography. *Thermosense: Thermal Infrared Applications XL*. doi: <https://doi.org/10.1117/12.2305613>
- Zalameda, J. N., Winfree, W. P., Horne, M. R. (2019). Characterization of damage formation in a composite single stringer hat stiffened panel using passive thermography. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/1.5099753>
- Seneviratne, W., Saseendran, V., Shafie, M., Tomblin, J. (2021). Skin/stringer interface damage characterization of stiffened composite structures. *American Society for Composites 2021*. doi: <https://doi.org/10.12783/asc36/35929>
- Milanoski, D., Galanopoulos, G., Zarouchas, D., Loutas, T. (2022). Damage Diagnostics on Post-buckled Stiffened Panels Utilizing the Digital-Twin Concept. *European Workshop on Structural Health Monitoring*, 213–222. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-07254-3_21
- van Dooren, K. S., Tijss, B. H. A. H., Waleson, J. E. A., Bisagni, C. (2023). Skin-stringer separation in post-buckling of butt-joint stiffened thermoplastic composite panels. *Composite Structures*, 304, 116294. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.116294>
- Xiong, J., Zhu, Y., Luo, C., Li, Y. (2021). Fatigue-driven failure criterion for progressive damage modelling and fatigue life prediction of composite structures. *International Journal of Fatigue*, 145, 106110. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2020.106110>
- Dogan, A. (2022). Quasi-static and dynamic response of functionally graded viscoelastic plates. *Composite Structures*, 280, 114883. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114883>
- Chen, J., Fang, H., Liu, W., Zhu, L., Zhuang, Y., Wang, J., Han, J. (2018). Energy absorption of foam-filled multi-cell composite panels under quasi-static compression. *Composites Part B: Engineering*, 153, 295–305. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.08.122>
- Zha, Y., Ma, Q., Gan, X., Cai, M., Zhou, T. (2020). Deformation and energy absorption characters of Al-CFRP hybrid tubes under quasi-static radial compression. *Polymer Composites*, 41 (11), 4602–4618. doi: <https://doi.org/10.1002/pc.25737>
- Shruti, M., Sri Hemanth, N., Badgayan, N. D., Sahu, S. K. (2021). Compressive behavior of auxetic structural metamaterial for lightweight construction using ANSYS static structural analysis. *Materials Today: Proceedings*, 38, 12–17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.410>
- Mirrudula, P., Priya, P. K., Malavika, M., Kumar, G. R., Vijayanandh, R., Kumar, M. S. (2020). Comparative structural analysis of the sandwich composite using advanced numerical simulation. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0019370>
- Saravanakumar, S., Kumar Chandramohan, N., Tamil Prabakaran, S., Muniyappan, M., Shanmugam, M., Shaisundaram, V. S. (2021). The static structural analysis of torque converter material for better performance by changing the stator angle. *Materials Today: Proceedings*, 37, 1963–1972. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.487>
- Vijayanandh, R., Venkatesan, K., Ramesh, M., Raj Kumar, G., Senthil Kumar, M. (2019). Optimization of orientation of carbon fiber reinforced polymer based on structural analysis. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 8 (11), 3020–3029. Available at: <http://www.ijstr.org/final-print/nov2019/Optimization-Of-Orientation-Of-Carbon-Fiber-Reinforced-Polymer-Based-On-Structural-Analysis.pdf>
- Htet, T. L. (2020). Structural analysis and topology design optimization of load bearing elements of aircraft fuselage structure. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 709 (4), 044113. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/709/4/044113>
- Carneiro, P. M. C., Gamboa, P. (2019). Structural analysis of wing ribs obtained by additive manufacturing. *Rapid Prototyping Journal*, 25 (4), 708–720. doi: <https://doi.org/10.1108/rpj-02-2018-0044>
- Pennington, A., Goyal, V. (2023). Integration of Fatigue R-Curve Effects into VCCT for Durability Predictions, Part 1: Buckled Composite Single-Stringer Stiffened Panels. *AIAA SCITECH 2023 Forum*. doi: <https://doi.org/10.2514/6.2023-0952>
- Martulli, L. M., Bernasconi, A. (2023). An efficient and versatile use of the VCCT for composites delamination growth under fatigue loadings in 3D numerical analysis: the Sequential Static Fatigue algorithm. *International Journal of Fatigue*, 170, 107493. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2022.107493>
- Chiang, C.-H., Hidayat, M., Kumar, D. (2022). Simulated thermal image based on finite element models for a layered composite structures. *Materials Today: Proceedings*, 57, 871–877. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.539>
- Tan, R., Xu, J., Guan, Z., Sun, W., Ouyang, T., Wang, S. (2020). Experimental study on effect of impact locations on damage formation and compression behavior of stiffened composite panels with L-shaped stiffener. *Thin-Walled Structures*, 150, 106707. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.106707>
- Saeedifar, M., Saleh, M. N., Nijhuis, P., de Freitas, S. T., Zarouchas, D. (2021). Damage assessment of a titanium skin adhesively bonded to carbon fiber-reinforced plastic omega stringers using acoustic emission. *Structural Health Monitoring*, 21 (2), 407–423. doi: <https://doi.org/10.1177/14759217211001752>
- Ciminello, M., Boffa, N. D., Concilio, A., Galasso, B., Romano, F., Monaco, E. (2020). Damage Detection of CFRP Stiffened Panels by Using

Cross-Correlated Spatially Shifted Distributed Strain Sensors. Applied Sciences, 10 (8), 2662. doi: <https://doi.org/10.3390/app10082662>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277342

DETERMINING A FLOW STRUCTURE IN THE REGION OF LOCAL OBSTACLES OF DIFFERENT TYPES TAKING INTO ACCOUNT THE HYDRODYNAMIC CONDITIONS FOR ENTERING THE INITIAL SECTION (p. 24–32)

Serhii Nosko

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8631-6118>

Dmytro Kostiuk

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5407-1443>

Oleksandr Haletskiy

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5733-5846>

Ihor Nochnichenko

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0690-0363>

This paper investigates the influence of hydrodynamic conditions for entering the initial section of the channel located after local obstacles of various types. It is shown that the head losses in the valves and bends of pipelines and in various control elements can be several times higher than those in straight sections of the pipeline. It was established that the assumption about the rectangular shape of the velocity diagram at the entrance to the hydrodynamic initial section does not correspond to the flow pattern in real channels of technological equipment. It is proved that with the manifestation of inertia forces in the flow at the initial section of the channel, hydrodynamic energy losses usually increase, velocity and stress fields are significantly deformed. Given this, it seemed expedient to conduct a study into the processes of flow of viscous liquids in the initial section, located after local obstacles of various types. Experimental and analytical studies have confirmed that there is a significant influence of boundary conditions at the entrance to the initial section on the formation of velocity diagrams and energy loss along its length. The analytical-numerical solution to the system of differential equations describing such flow is given. While solving, the system of equations, by appropriate transformations, takes the form of a nonlinear integral-differential equation. This makes it possible to obtain correct dependences for determining the length of the velocity distribution and energy loss in the investigated section of the channel. The results of calculations of velocity fields in the region of local obstacles agree well with known ideas of the flow pattern, which is observed in physical experiments and the results of analytical solutions. The quantitative difference in results ranges within 12–20 % depending on the Reynolds number. Thus, there is reason to assert that the results of studies reported here could be the basis for devising a procedure of hydrodynamic calculation aimed at structural and operational improvement of existing and designed technological equipment.

Keywords: local obstacles of various types, conditions for entering the initial section, numerical solution.

References

- Safarifar, M., Aghae, Z., Pourjafar, M., Bazargan, S., Sadeghy, K. (2020). Hydroelastic instability of viscoelastic fluids in developing flow through a compliant channel. *Korea-Australia Rheology Journal*, 32 (2), 99–119. doi: <https://doi.org/10.1007/s13367-020-0010-9>
- Joshi, Y., Vinoth, B. R. (2018). Entry Lengths of Laminar Pipe and Channel Flows. *Journal of Fluids Engineering*, 140 (6). doi: <https://doi.org/10.1115/1.4038668>
- Bruyatskiy, E. V., Kostin, A. G. (2009). Raschet poley skorosti i davleniya dlya techeniya v ploskom kanale s vnezapnym odnostoronnim suzheniem. *Prykladnaia hidromekhanika*, 11 (2), 3–15. Available at: [http://hydromech.org.ua/content/pdf/ph/ph-11-2\(03-15\).pdf](http://hydromech.org.ua/content/pdf/ph/ph-11-2(03-15).pdf)
- Bruyatskiy, E. V., Kostin, A. G., Nikiforovich, E. I., Rozumnyuk, N. V. (2008). Metod chislenogo resheniya uravneniy Nav'e-Stoksa v peryemnykh skorost'-davlenie. *Prykladna hidromekhanika*, 10 (2), 13–23. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/4635/02-Brujatskiy.pdf?sequence=1>
- Zargartalebi, A., Zargartalebi, M., Benneker, A. M. (2021). Analysis of vortices in viscoelastic fluid flow through confined geometries at low Reynolds numbers. *AIP Advances*, 11 (8), 085213. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0059041>
- Everts, M., Meyer, J. P. (2020). Laminar hydrodynamic and thermal entrance lengths for simultaneously hydrodynamically and thermally developing forced and mixed convective flows in horizontal tubes. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 118, 110153. doi: <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2020.110153>
- Kutuzov, A. G. (2012). Bezvikhrevoe techenie vuzkoupругoy zhidkosti vo vkhodnom kanale ekstruzionnoy golovki Vestnik KGTU, 2, 137–139.
- Verbeeten, W. M. H., Peters, G. W. M., Baaijens, F. P. T. (2001). Differential constitutive equations for polymer melts: The extended Pom–Pom model. *Journal of Rheology*, 45 (4), 823–843. doi: <https://doi.org/10.1122/1.1380426>
- Kutuzova, E. R., Tazyukov, F. Kh., Khalaf, Kh. A. (2014). Dinamika techeniya vyzkoupругoy zhidkosti cherez ploskoe 8:1 suzhenie. *Vest. Kazansk. Tekhnologich.*, 2, 83–85.
- Nosko, S. V., Bulygin, V. A. (2012). Hydrodynamic calculation of the forming part of machine for processing of cellulose acetate. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (56)), 48–52. Available at: <http://journals.uran.ua/ejet/article/view/3758>
- Nosko, S. V., Mosiychuk, V. A. (2011). Issledovanie kinematicheskikh kharakteristik potoka v kanalakh litnikovoy sistemy, metodami vizualizatsii. *Vestnik NTUU «KPI»: Mashinostroenie*, 62, 79–82.
- Hnativ, R. M. (2011). Vykorystannia dopplerivskoho lokatora dlia vymyriuvannia shvydkosti pry neustalennomu rusi ridyn. *Promyslova hidravlika i pnevmatyka*, 1 (31), 60–63. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/inhpn_2011_1_16
- Poplavskiy, S. V., Nesterov, A. Yu., Boyko, V. M. (2020). Razrabotka i primenenie lazernogo doplerovskogo anemometra s pryamym spektral'nym analizom dlya issledovaniya vysokoskorostnykh mnogofaznykh potokov. *Teplofizika i aeromekhanika*, 4, 583–591. Available at: https://www.sibran.ru/journals/issue.php?ID=180040&ARTICLE_ID=180048
- Arda, D. R., Mackley, M. R. (2005). The effect of die exit curvature, die surface roughness and a fluoropolymer additive on sharkskin extrusion instabilities in polyethylene processing. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 126 (1), 47–61. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jnnfm.2004.12.005>
- Clemeur, N., Rutgers, R. P. G., Debbaut, B. (2004). Numerical simulation of abrupt contraction flows using the Double Convected Pom–Pom model. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 117 (2-3), 193–209. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jnnfm.2004.02.001>
- Tachibana, M., Iemoto, Y. (1981). Steady Laminar Flow in the Inlet Region of Rectangular Ducts. *Bulletin of JSME*, 24 (193), 1151–1158. doi: <https://doi.org/10.1299/jsme1958.24.1151>
- Mazo, A. B. (2018). Vychislitel'naya gidrodinamika. Chast' 1. Matematicheskie modeli, setki i setochnye skhemy. Kazan': Kazanskiy universitet, 165. Available at: https://www.researchgate.net/publication/329702419_VYCISLITELNAA_GIDRODINAMIKA_Cast_1_Matematicheskie_modeli_setki_i_setochnye_shemy_Ucebnoe_posobie_Kazan-2018

18. Kalinin, E. I., Mazo, A. B., Isaev, S. A. (2016). Composite mesh generator for CFD problems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 158, 012047. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/158/1/012047>
19. Shlikhting, G. (1974). *Teoriya pogranchnogo sloya*. Moscow: Nauka, 742.
20. Miller, E., Rothstein, J. P. (2004). Control of the sharkskin instability in the extrusion of polymer melts using induced temperature gradients. *Rheologica Acta*, 44 (2), 160–173. doi: <https://doi.org/10.1007/s00397-004-0393-4>
21. Batra, R. L., K. Koshy, M. (1978). Effect of non-uniform inlet velocity profile in the entrance region of a Bingham plastic flow Between parallel plates. *International Journal of Engineering Science*, 16 (8), 579–589. doi: [https://doi.org/10.1016/0020-7225\(78\)90022-8](https://doi.org/10.1016/0020-7225(78)90022-8)
22. Tomita, Y. (1991). Velocity Profile in Viscoelastic Flow of a Tube. *Journal of Chem. Engineering of Japan*, 4, 115–118.
23. Nosko, S. V. (2014). Research of hydrodynamic conditions of entrance in channels of process equipment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (69)), 49–54. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.24876>
24. Cherry, E. M., Padilla, A. M., Elkins, C. J., Eaton, J. K. (2010). Three-dimensional velocity measurements in annular diffuser segments including the effects of upstream strut wakes. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 31 (4), 569–575. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2010.02.029>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.278001

PATTERN IDENTIFICATION OF THE NON-STATIONARY LAMINAR FLOW OF A VISCOUS FLUID IN THE ROUND PIPE INLET SECTION (p. 33–42)

Arestak Sarukhanyan

National University of Architecture and Construction of Armenia,
Yerevan, Armenia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4928-9960>

Yeghiazar Vardanyan

National University of Architecture and Construction of Armenia,
Yerevan, Armenia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7208-8038>

Pargev Baljyan

National Polytechnic University of Armenia, Yerevan, Armenia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8936-2547>

Garnik Vermishyan

National University of Architecture and Construction of Armenia,
Yerevan, Armenia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8524-5899>

The study of the patterns of change in the hydrodynamic parameters under the conditions of non-stationary flow at the entry of the cylindrical pipe and the initial arbitrary distribution of velocities in the entry section was conducted based on the boundary layer equations. A boundary problem was formed under the axisymmetric change conditions in the flow. The boundary conditions were chosen in accordance with the pattern of an arbitrary distribution of velocities in the entry section. A general solution of the approximating Navier-Stokes equations is presented depending on the initial conditions and the Reynolds number. In accordance with the type of flow, the boundary conditions of the problem are established, and the boundary-value problem is formulated. Regularities for the change in velocities lengthwise in the entrance region have been obtained for a constant and parabolic velocity distribution in the inlet cross-sections. Analytical solutions have been obtained, allowing to obtain patterns of changes in velocities and pressures toward flow at any section and at any time. For the mentioned cases, the composite graphs of velocity changes in different sections

along the length of the entrance transition area were constructed by computer analysis, for different time conditions. With the obtained composite graphs, the patterns of change over the entire length of the transition area of the entrance region were constructed, enabling to obtain fluid flow velocity at any point of the section. The length of the transition zone can be estimated based on the condition of reaching a certain percentage (99 %) of the maximum velocity of the flow.

The proposed solutions create the conditions for correctly constructing separate units of hydromechanical equipment.

Keywords: cylindrical pipe, inlet section, non-stationary flow, viscous fluid, velocity distribution.

References

1. Schlichting, H., Gersten, K. (2017). *Boundary-Layer Theory*. Springer, 805. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-52919-5>
2. Targ, S. M. (1951). *Osnovnye zadachi teorii laminarnykh techeniy*, Moscow: Gostekhizdat, 420.
3. Slezkin, N. A. (1955). *Dinamika vyazkoy neshhimaemoy zhidkosti*. Moscow: Gostekhizdat, 519.
4. Tikhonov, A. N., Samarskiy, A. G. (1999). *Uravneniya matematicheskoy fiziki*. Moscow: Nauka, 799.
5. Atabek, H. B., Chang, C. C. (1961). Oscillatory flow near the entry of a circular tube. *Zeitschrift Für Angewandte Mathematik Und Physik ZAMP*, 12 (3), 185–201. doi: <https://doi.org/10.1007/bf01592332>
6. Atabek, H. B., Chang, C. C., Fingerson, L. M. (1964). Measurement of Laminar Oscillatory Flow in the Inlet Length of a Circular Tube. *Physics in Medicine and Biology*, 9 (2), 219–227. doi: <https://doi.org/10.1088/0031-9155/9/2/309>
7. Avula, X. J. R. (1969). Analysis of suddenly started laminar flow in the entrance region of a circular tube. *Applied Scientific Research*, 21 (1), 248–259. doi: <https://doi.org/10.1007/bf00411611>
8. Crane, C. M. (1974). A new method for the numerical solution of time dependent viscous flow. *Applied Scientific Research*, 30 (1), 47–77. doi: <https://doi.org/10.1007/bf00385775>
9. Akosta (1976). Vliyanie nestatsionarnosti techeniya na izmerenie raskhuda na vkhode v trubu. *Teor. Osn. Inzh. Rasch.*, 3, 341–342.
10. Aynola, L. Ya., Ruustal (1985). Razvitie techeniya na vkhodnom uchastke krugloy trubyy pri razgonnom dvizhenii zhidkosti. *Trudy Tallinskogo politekhnicheskogo instituta*. Tallin, 95–107.
11. Sarukhanyan, A. A. (1991). Razvitie laminarnogo neustanovivshegosya techeniya vyazkoy zhidkosti na vkhodnom uchastke krugloy tsilindricheskoy trubyy. *Izv. AN Arm SSR, seriya Mekhanika*, 44 (2), 45–51.
12. Sarukhanyan, A., Vartanyan, A., Vermishyan, G., Tokmajyan, V. (2020). The Study of Hydrodynamic Processes Occurring on Transition of Sudden Expanding of Hydraulic Section of Plane – Parallel Full Pipe Flow. *TEM Journal*, 9 (4), 1494–1501. doi: <https://doi.org/10.18421/tem94-23>
13. Urbanowicz, K., Firkowski, M., Bergant, A. (2018). Comparing analytical solutions for unsteady laminar pipe flow. Conference: BHR Pressure Surges 2018. Available at: https://www.researchgate.net/publication/329759824_Comparing_analytical_solutions_for_unsteady_laminar_pipe_flow
14. Vardy, A. E., Brown, J. M. B. (2010). Laminar pipe flow with time-dependent viscosity. *Journal of Hydroinformatics*, 13 (4), 729–740. doi: <https://doi.org/10.2166/hydro.2010.073>
15. Daprà, I., Scarpi, G. (2017). Unsteady Flow of Fluids With Arbitrarily Time-Dependent Rheological Behavior. *Journal of Fluids Engineering*, 139 (5). doi: <https://doi.org/10.1115/1.4035637>
16. Kannaiyan, A., Natarajan, S., Vinoth, B. R. (2022). Stability of a laminar pipe flow subjected to a step-like increase in the flow rate. *Physics of Fluids*, 34 (6), 064102. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0090337>
17. Kumakshev, S. A. (2020). Flat diffuser: steady state flow of a viscous incompressible fluid. *Engineering Journal: Science and Innovation*, 7 (103). doi: <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2020-7-1993>

18. Volkov, E., Fedyushkin, A. (2019). Symmetry of the flow of Newtonian and non-Newtonian fluid in a flat diffuser and confuser. *Physical-Chemical Kinetics in Gas Dynamics*, 20 (2), 1–19. doi: <https://doi.org/10.33257/phchgd.20.2.791>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277909

TOPOLOGY OPTIMIZATION FOR ISOTROPIC ELASTIC MATERIALS USING HONEYCOMB TESSELL (p. 43–49)

Ngoc-Tien Tran

Hanoi University of Industry, Hanoi, Vietnam
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5099-3758>

Topology optimization is gaining popularity as a primary tool for engineers in the initial stages of design. Essentially, the design domain is broken down into individual pixels, with the material density of each element or mesh point serving as a design variable. The optimization problem is then tackled through mathematical programming and optimization methods that rely on analytical gradient calculation. In this study, topology optimization using honeycomb tessellation elements is explored. Hexagonal elements have the ability to flexibly connect two adjacent elements. The use of the hexagonal element limits the occurrence of the checkerboard pattern to the finite elements of the quadrilateral standard Lagrangian type. A mathematical model is developed with the objective function being the minimum compliance value of the design domain. The element stiffness matrix is constructed using the strain-displacement matrix and the constitutive matrix, assuming a unit Young's modulus. Additionally, optimal conditions are established using Lagrangian multipliers. Two sensitivity and density filtering filters are employed to increase optimization efficiency, prevent the algorithm from reaching a local optimal state, and speed up convergence. If the suggested filter is employed, the objective function achieves a value of $c=173,0293$ and convergence is attained after 200 iterations. In contrast, without using the filter, the objective function has a larger value ($c=186,7922$) and convergence occurs at the 27th iteration. The results are significant for optimizing topology to meet specific boundary condition requirements. This paper proposes a novel approach using a combination of filters to advance topology optimization using hexagonal elements in future applications.

Keywords: topology optimization, boundary conditions, isotropic material, filter sensitivity, honeycomb tessell.

References

- Sigmund, O. (2007). Morphology-based black and white filters for topology optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 33 (4-5), 401–424. doi: <https://doi.org/10.1007/s00158-006-0087-x>
- Banh, T. T., Luu, N. G., Lee, D. (2021). A non-homogeneous multi-material topology optimization approach for functionally graded structures with cracks. *Composite Structures*, 273, 114230. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114230>
- Huang, X., Li, W. (2022). Three-field floating projection topology optimization of continuum structures. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 399, 115444. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cma.2022.115444>
- Zhou, P., Du, J., Lü, Z. (2018). A generalized DCT compression based density method for topology optimization of 2D and 3D continua. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 334, 1–21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cma.2018.01.051>
- Shen, W., Ohsaki, M. (2020). Geometry and topology optimization of plane frames for compliance minimization using force density method for geometry model. *Engineering with Computers*. doi: <https://doi.org/10.1007/s00366-019-00923-w>
- Tarek, M., Ray, T. (2020). Adaptive continuation solid isotropic material with penalization for volume constrained compliance minimization. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 363, 112880. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cma.2020.112880>
- Mathai, B., Dhara, S., Gupta, S. (2022). Bone remodelling in implanted proximal femur using topology optimization and parameterized cellular model. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 125, 104903. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2021.104903>
- Li, H., Li, H., Gao, L., Li, J., Li, P., Yang, Y. (2021). Topology optimization of arbitrary-shape multi-phase structure with structured meshes based on a virtual phase method. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 387, 114138. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cma.2021.114138>
- Liu, J., Zheng, Y., Ma, Y., Qureshi, A., Ahmad, R. (2019). A Topology Optimization Method for Hybrid Subtractive–Additive Remanufacturing. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 7 (5), 939–953. doi: <https://doi.org/10.1007/s40684-019-00075-8>
- Sha, L., Lin, A., Zhao, X., Kuang, S. (2020). A topology optimization method of robot lightweight design based on the finite element model of assembly and its applications. *Science Progress*, 103 (3), 003685042093648. doi: <https://doi.org/10.1177/0036850420936482>
- Sato, A., Yamada, T., Izui, K., Nishiwaki, S., Takata, S. (2019). A topology optimization method in rarefied gas flow problems using the Boltzmann equation. *Journal of Computational Physics*, 395, 60–84. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2019.06.022>
- Liu, S., Li, Q., Liu, J., Chen, W., Zhang, Y. (2018). A Realization Method for Transforming a Topology Optimization Design into Additive Manufacturing Structures. *Engineering Structures*, 4 (2), 277–285. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2017.09.002>
- Xia, L., Zhang, L., Xia, Q., Shi, T. (2018). Stress-based topology optimization using bi-directional evolutionary structural optimization method. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 333, 356–370. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cma.2018.01.035>
- Abdi, M., Ashcroft, I., Wildman, R. (2018). Topology optimization of geometrically nonlinear structures using an evolutionary optimization method. *Engineering Optimization*, 50 (11), 1850–1870. doi: <https://doi.org/10.1080/0305215x.2017.1418864>
- Hu, J., Yao, S., Gan, N., Xiong, Y., Chen, X. (2019). Fracture strength topology optimization of structural specific position using a bi-directional evolutionary structural optimization method. *Engineering Optimization*, 52 (4), 583–602. doi: <https://doi.org/10.1080/0305215x.2019.1609466>
- Rahmatalla, S. F., Swan, C. C. (2004). A Q4/Q4 continuum structural topology optimization implementation. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 27 (1-2), 130–135. doi: <https://doi.org/10.1007/s00158-003-0365-9>
- Talisch, C., Paulino, G. H., Pereira, A., Menezes, I. F. M. (2009). Polygonal finite elements for topology optimization: A unifying paradigm. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 82 (6), 671–698. doi: <https://doi.org/10.1002/nme.2763>
- Kunakote, T., Bureerat, S. (2011). Multi-objective topology optimization using evolutionary algorithms. *Engineering Optimization*, 43 (5), 541–557. doi: <https://doi.org/10.1080/0305215x.2010.502935>
- Wallin, M., Ivarsson, N., Amir, O., Tortorelli, D. (2020). Consistent boundary conditions for PDE filter regularization in topology optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 62 (3), 1299–1311. doi: <https://doi.org/10.1007/s00158-020-02556-w>
- Kumar, P., Saxena, A., Sauer, R. A. (2016). Implementation of Self Contact in Path Generating Compliant Mechanisms. *Microactuators and Micromechanisms*, 251–261. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-45387-3_22
- Saxena, A. (2011). Topology design with negative masks using gradient search. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 44 (5), 629–649. doi: <https://doi.org/10.1007/s00158-011-0649-4>

22. Sukumar, N., Tabarraei, A. (2004). Conforming polygonal finite elements. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 61 (12), 2045–2066. doi: <https://doi.org/10.1002/nme.1141>
23. Yoon, G. H., Ha, S. I. (2020). A New Development of a Shadow Density Filter for Manufacturing Constraint and Its Applications to Multiphysics Topology Optimization. *Journal of Mechanical Design*, 143 (6). doi: <https://doi.org/10.1115/1.4048818>
24. Yi, B., Yoon, G. H., Peng, X. (2020). A simple density filter for the topology optimization of coated structures. *Engineering Optimization*, 53 (12), 2088–2107. doi: <https://doi.org/10.1080/0305215x.2020.1845326>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277609

CASE STUDY OF SHEAR STRENGTHENING OF RC CORBELS BY STEEL PLATES USING FEA (p. 50–60)

Doaa Talib Hashim

Northern Technical University, Mosul, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3408-5300>

Ali Wathiq Abdulghani

Southern Technical University, Basrah, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9311-4526>

Hasan Mohammed Ahmed Albegmpri

Northern Technical University, Mosul, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1921-1110>

The study aimed to explore the possibility of strengthening RC corbels with many strengthening techniques. The research analyzed the RC corbels behavior under a wide range of variables. The theoretical study consisted of twelve models reinforced with GFRP bars with strengthening by steel plate. Finite element analysis with ANSYS APDL was used to verify five specimens. This research deals with a static nonlinear FE simulation to investigate the behavior of RC Corbels reinforced internally and externally. The verification with experimental work demonstrated a satisfactory agreement in the load-displacement relationship, ultimate load and displacement, and failure mode. The parametric study was implemented which included strengthening the four concrete corbels externally and four corbels internally by a steel plate in many configurations while the remaining three were modeled with varied compressive strength (30, 40, and 50) MPa. The external strengthening included the placing of steel plate externally around the corbel in a U-shaped form and partial strengthening by strips and bottom plate. The models with internal strengthening involved placing the steel plate internally instead of stirrups. The results discovered that the strengthening provided enrichments in the stiffness, ductility, and energy absorption by 37 %, 4 %, and 26 %. In addition, in the case of full external strengthening more than internal retrofitting, there is a maximum improvement in the cracking and ultimate load carrying capacity. The external strengthening was better than internal one due to the confinement effect of the concrete. The stress distribution and crack pattern were affected by the strengthening techniques and more cracks appeared in the corbels with external steel plates.

Keywords: Nonlinear finite element, RC Corbel, steel plate, deflection, energy absorption, cracking, shear strength, parametric study.

References

1. Hashim, D. T., Hejazi, F., Jaafar, M. S. (2018). Investigation of Infill Wall Effect on Inelastic Response of Structures. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 503–527. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-10-8016-6_41
2. Talib Hashim, D., Hejazi, F., Jaafar, M. S., Yen Lai, V. (2019). The Performance Evaluation of Circular Flange Bolted Connection in Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete Segmented Communication Tower. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. doi: <https://doi.org/10.3311/ppci.12697>
3. Hashim, D. T., Hejazi, F., Lei, V. Y. (2020). Simplified Constitutive and Damage Plasticity Models for UHPFRC with Different Types of Fiber. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 14 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s40069-020-00418-9>
4. Sulaiman, E., Khudair, J. (2019). Experimental study on the behavior and strength of reinforced concrete corbels cast with self-compacting concrete incorporating recycled concrete as coarse aggregate. *IJCIET*, 10 (1), 188–201. Available at: <https://sdbindex.com/Entry/both/17023>
5. Hassan, A., Ellithy, M., El-Shafiey, T. F. (2022). Upgrading the shear strength of reinforced concrete corbels using strain hardening cementitious composites. *Engineering Structures*, 273, 115047. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115047>
6. Abdul-Razzaq, K. S., Dawood, A. A., Mohammed, A. H. (2019). A Review of Previous Studies on the Reinforced Concrete Corbels. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 518 (2), 022057. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/518/2/022057>
7. Al-Kamaki, Y. S. S., Hassan, G. B., Alsofi, G. (2018). Experimental study of the behaviour of RC corbels strengthened with CFRP sheets. *Case Studies in Construction Materials*, 9, e00181. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.e00181>
8. Md Zin, N., Al-Fakih, A., Nikbakht, E., Teo, W., Anwar Gad, M. (2019). Influence of Secondary Reinforcement on Behaviour of Corbels with Various Types of High-Performance Fiber-Reinforced Cementitious Composites. *Materials*, 12 (24), 4159. doi: <https://doi.org/10.3390/ma12244159>
9. Campione, G. (2009). Flexural response of FRC corbels. *Cement and Concrete Composites*, 31 (3), 204–210. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.01.006>
10. El-Maaddawy, T. A., Sherif, E.-S. I. (2014). Response of Concrete Corbels Reinforced with Internal Steel Rebars and External Composite Sheets: Experimental Testing and Finite Element Modeling. *Journal of Composites for Construction*, 18 (1). doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cc.1943-5614.0000403](https://doi.org/10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000403)
11. Abbu, M. A. N., Hashim, D. T., Albegmpri, H. M. A., Mezaal, M. R. (2023). Fatigue determination of the kenaf/PLA composite structure using fatigue specimen (ASTM D7791): a computational analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (121)), 14–20. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273974>
12. Campione, G., La Mendola, L., Mangiavillano, M. L. (2007). Steel Fiber-Reinforced Concrete Corbels: Experimental Behavior and Shear Strength Prediction. *ACI Structural Journal*, 104 (5). doi: <https://doi.org/10.14359/18859>
13. Fattuhim, N. I., Hughes, B. P. (1989). Ductility of Reinforced Concrete Corbels Containing Either Steel Fibers or Stirrups. *ACI Structural Journal*, 86 (6). doi: <https://doi.org/10.14359/2660>
14. Fattuhi, N. I. (1994). Reinforced corbels made with plain and fibrous concretes. *ACI Structural Journal*, 91 (5). doi: <https://doi.org/10.14359/4166>
15. Carolin, A., Täljsten, B. (2005). Experimental Study of Strengthening for Increased Shear Bearing Capacity. *Journal of Composites for Construction*, 9 (6), 488–496. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0268\(2005\)9:6\(488\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0268(2005)9:6(488))
16. Bousselham, A., Chaallal, O. (2006). Effect of transverse steel and shear span on the performance of RC beams strengthened in shear with CFRP. *Composites Part B: Engineering*, 37 (1), 37–46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2005.05.012>
17. Nagrodzka-Godycka, K. (1999). Behavior of Corbels with External Prestressing Bars – Experimental Study. *ACI Structural Journal*, 96 (6). doi: <https://doi.org/10.14359/780>
18. Lachowicz, M., Nagrodzka-Godycka, K. (2016). Experimental study of the post tensioned prestressed concrete corbels. *Engineering Structures*, 108, 1–11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.11.007>
19. Shakir, Q. M. (2021). Performance assessment of high strength concrete two-sided corbels with embedded stiffened web-rolled steel. *Structures*, 32, 1469–1480. doi: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.03.098>

20. Heidayet, A., Ramadhan, A., Qarani, O. (2004). Repairing of Damaged Reinforced Concrete Corbels Strengthened by Externally Bonded Steel Plates. *Zanco J. Pure Appl. Sci.*, 16 (1).
21. Abu-Obaida, A., El-Ariss, B., El-Maaddawy, T. (2018). Behavior of Short-Span Concrete Members Internally Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer Bars. *Journal of Composites for Construction*, 22 (5). doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cc.1943-5614.0000877](https://doi.org/10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000877)
22. Kachlakev, D., Miller, T., Yim, S., Chansawat, K., Potisuk, T. (2001). Finite element modeling of reinforced concrete structures strengthened with frp laminates. Report SPR 316. Available at: <https://www.oregon.gov/odot/Programs/ResearchDocuments/FiniteElementModeling.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277254

IMPROVING THE PROCEDURE FOR MODELING LOW-FREQUENCY OSCILLATIONS OF THE FREE SURFACE LIQUID IN A TRACTOR TANK (p. 61–68)

Andrii Kozhushko

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4725-5911>

Yevhen Pelypenko

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8988-791X>

Serhii Kravchenko

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3250-8645>

Vitalii Danylenko

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2787-3947>

This paper considers the influence of hydrodynamic processes in the movement of the free surface of liquid in partially filled tractor tanks. Splashing liquid in partially filled containers is a significant problem in the study of functional stability of movement in the marine, aerospace, rail, and automotive industries. After all, it affects productivity and traffic safety. The same effect was observed when performing transportation work while delivering liquid cargoes in the agricultural sector. That was due to increasing the transportation speeds of wheeled tractors. In the procedure, using the Rayleigh theory of surface waves, a linearized problem of motion of the free surface of a liquid is obtained. Based on Helmholtz's theorem, the components of scalar and Laplace field vector potentials of fluid velocity vector are separated. The potential problem for translational motion of fluid, in which vortex component of the field is absent, is considered. Instead of the fluid velocity potential, a scalar fluid displacement potential in Rayleigh surface waves was introduced. Comparing the results of calculating fluid splashing with the work of other scientists, a high convergence of natural frequencies of partial oscillators in 3D space was found. This is noticeable in the last quarter of the filling of the tank, in which significant displacements of the deep liquid occur. A feature of the results is the introduction, instead of the real shape of the container, an equivalent form of a parallelepiped, the final shape of which depends on the level of fullness. The frequency properties of movement of the free surface of liquid based on the standard size of tanks used in agriculture are separated. The proposed improved methodology could be used to increase stability, controllability, and smoothness when operating tanks with a wheeled tractor.

Keywords: cylindrical tank, free surface, equivalent shape, eigenfrequency, partial oscillator.

References

1. Zheng, X. L., Li, X. S., Ren, Y. Y., Cheng, Z. Q. (2014). Transient Liquid Sloshing in Partially-Filled Tank Vehicles. *Applied Mechanics and Materials*, 526, 133–138. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.526.133>
2. Kalinin, Y., Klets, D., Shuliak, M., Kholodov, A. (2020). Information system for controlling transport-technological unit with variable mass. *CEUR Workshop Proceedings*, 2732, 303–312. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-2732/20200303.pdf>
3. Giordano, D. M., Facchinetti, D., Pessina, D. (2015). Comfort efficiency of the front axle suspension in off-road operations of a medium-powered agricultural tractor. *Contemporary Engineering Sciences*, 8, 1311–1325. doi: <https://doi.org/10.12988/ces.2015.56186>
4. Saghi, R., Saghi, H. (2022). Numerical simulation of half-full cylindrical and bi-lobed storage tanks against the sloshing phenomenon. *Ocean Engineering*, 266, 112896. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.112896>
5. Kolaei, A., Rakheja, S., Richard, M. J. (2015). Three-dimensional dynamic liquid slosh in partially-filled horizontal tanks subject to simultaneous longitudinal and lateral excitations. *European Journal of Mechanics - B/Fluids*, 53, 251–263. doi: <https://doi.org/10.1016/j.euromechflu.2015.06.001>
6. Hasheminejad, S. M., Soleimani, H. (2017). An analytical solution for free liquid sloshing in a finite-length horizontal cylindrical container filled to an arbitrary depth. *Applied Mathematical Modelling*, 48, 338–352. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2017.03.060>
7. Karamanos, S. A., Papaprokopiou, D., Platyrrachos, M. A. (2009). Finite Element Analysis of Externally-Induced Sloshing in Horizontal-Cylindrical and Axisymmetric Liquid Vessels. *Journal of Pressure Vessel Technology*, 131 (5). doi: <https://doi.org/10.1115/1.3148183>
8. Karamanos, S. A., Patkas, L. A., Platyrrachos, M. A. (2005). Sloshing Effects on the Seismic Design of Horizontal-Cylindrical and Spherical Industrial Vessels. *Journal of Pressure Vessel Technology*, 128 (3), 328–340. doi: <https://doi.org/10.1115/1.2217965>
9. Kozhushko, A. P. (2022). *Teoriya kolyvan traktora pry transportuvanni tsystem silskohospodarskoho pryznachennia*. Kharkiv: Miroshnychenko O. A., 239. Available at: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/55591>
10. Sun, Y., Zhou, D., Wang, J. (2019). An equivalent mechanical model for fluid sloshing in a rigid cylindrical tank equipped with a rigid annular baffle. *Applied Mathematical Modelling*, 72, 569–587. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2019.03.024>
11. Ruiz, R. O., Lopez-Garcia, D., Taflanidis, A. A. (2015). An efficient computational procedure for the dynamic analysis of liquid storage tanks. *Engineering Structures*, 85, 206–218. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.12.011>
12. McCarty, J. L. (1960). Investigation of the Natural Frequencies of Fluids in Spherical and Cylindrical Tanks. *National Aeronautics and Space Administration*.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.276780

ASSESSING THE EFFECT OF MECHANICAL DEFORMATION OF THE PANASONIC NCR18650B LITHIUM-ION POWER CELL HOUSING ON ITS FIRE SAFETY (p. 69–78)

Oleksandr Lazarenko

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0500-0598>

Taras Hembara

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7160-9882>

Vitalii Pospolitak

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9373-792X>

Dmytro Voytovych

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2280-5585>

This paper considers the deformation properties of the body of the lithium-ion power cell (LIPC) Panasonic NCR18650B ($\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$) exposed to the action of static load at various techniques of fixing the cell. Determining the properties of LIPCs under appropriate conditions makes it possible to fill the gap in existing studies, which will further ensure the safety of their use.

Based on the results of experimental studies, the LIPC rigidity and temperature indicators were determined in accordance with the applied load. The most dangerous variant, from the point of view of fire danger, of applying a static load on the cell has been established.

It was experimentally established that, on average, the Panasonic NCR18650B LIPC housing can withstand a load of about 80 kg·s/cm² (or 7.84 MPa) without further ignition. An increase in pressure force in the range exceeding 85–90 kg·s/cm² leads to an irreversible chain thermochemical reaction, which, within 2–3 seconds, leads to LIPC ignition. Compressing the LIPC evenly along its lateral surface showed the occurrence of combustion at the load on the cell equal to 150 kg·s/cm². The average temperature of the cell during combustion caused by the deformation of the housing is 350–450 °C, and the maximum value is registered in the range of 580–680 °C.

The mathematical model built on the basis of the mathematical theory of thin shells adequately describes the stressed-strained state of the cylindrical body of cells under the action of a force concentrated and distributed load. The estimation model is satisfactorily verified by experimental results, making it possible to improve the strength and rigidity of LIPC housing by choosing the appropriate steel grade for its body, the geometric dimensions, and the structural technique of its fastening.

Keywords: Panasonic NCR18650B, mechanical deformation, combustion temperature, mathematical model, fire hazard.

References

- Cai, Y., Ku, L., Wang, L., Ma, Y., Zheng, H., Xu, W. et al. (2019). Engineering oxygen vacancies in hierarchically Li-rich layered oxide porous microspheres for high-rate lithium ion battery cathode. *Science China Materials*, 62 (10), 1374–1384. doi: <https://doi.org/10.1007/s40843-019-9456-1>
- Chen, X., Li, H., Yan, Z., Cheng, F., Chen, J. (2019). Structure design and mechanism analysis of silicon anode for lithium-ion batteries. *Science China Materials*, 62 (11), 1515–1536. doi: <https://doi.org/10.1007/s40843-019-9464-0>
- Lazarenko, O., Berezhanskyi, T., Pospolitak, V., Pazen, O. (2022). Experimental evaluation of the influence of excessive electric current on the fire hazard of lithium-ion power cell. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (118)), 67–75. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263001>
- Lazarenko, O. V., Pazen, O. Y., Sukach, R. Y., Pospolitak, V. I. (2022). Experimental evaluation of fire hazard of lithium-ion battery during its mechanical damage. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 5, 68–73. doi: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-5/068>
- Chen, Y., Kang, Y., Zhao, Y., Wang, L., Liu, J., Li, Y. et al. (2021). A review of lithium-ion battery safety concerns: The issues, strategies, and testing standards. *Journal of Energy Chemistry*, 59, 83–99. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2020.10.017>
- GB/T 31485-2015. Safety requirements and test methods for traction battery of electric vehicle (English Version). Available at: <https://www.codeofchina.com/standard/GBT31485-2015.html>
- Ruiz, V., Pfrang, A., Kriston, A., Omar, N., Van den Bossche, P., Boon-Brett, L. (2018). A review of international abuse testing standards and regulations for lithium ion batteries in electric and hybrid electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1427–1452. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.195>
- Xi, S., Chang, L., Chen, W., Zhao, Q., Guo, Y., Cai, Z. (2021). Mechanical Response Analysis of Battery Modules Under Mechanical Load: Experimental Investigation and Simulation Analysis. *Energy Technology*, 10 (3), 2100763. doi: <https://doi.org/10.1002/ente.202100763>
- Kermani, G., Keshavarzi, M. M., Sahraei, E. (2021). Deformation of lithium-ion batteries under axial loading: Analytical model and Representative Volume Element. *Energy Reports*, 7, 2849–2861. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.05.015>
- Yuan, Q., Chen, X., Meng, K., Wang, P., Tang, L., Wang, T. et al. (2022). Research on Mechanical Simulation Model and Working Safety Boundary of Large-Capacity Prismatic Lithium-Ion Battery Based on Experiment. *Journal of Electrochemical Energy Conversion and Storage*, 19 (3). doi: <https://doi.org/10.1115/1.4054062>
- Wang, L., Yin, S., Yu, Z., Wang, Y., Yu, T. X., Zhao, J. et al. (2018). Unlocking the significant role of shell material for lithium-ion battery safety. *Materials & Design*, 160, 601–610. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.10.002>
- Xi, S., Zhao, Q., Chang, L., Huang, X., Cai, Z. (2020). The dynamic failure mechanism of a lithium-ion battery at different impact velocity. *Engineering Failure Analysis*, 116, 104747. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104747>
- Xing, B., Xiao, F., Korogi, Y., Ishimaru, T., Xia, Y. (2021). Direction-dependent mechanical-electrical-thermal responses of large-format prismatic Li-ion battery under mechanical abuse. *Journal of Energy Storage*, 43, 103270. doi: <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103270>
- Perea, A., Paoletta, A., Dubé, J., Champagne, D., Mauger, A., Zaghib, K. (2018). State of charge influence on thermal reactions and abuse tests in commercial lithium-ion cells. *Journal of Power Sources*, 399, 392–397. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.07.112>
- Muresanu, A. D., Dudescu, M. C. (2022). Numerical and Experimental Evaluation of a Battery Cell under Impact Load. *Batteries*, 8 (5), 48. doi: <https://doi.org/10.3390/batteries8050048>
- Yin, H., Ma, S., Li, H., Wen, G., Santhanagopalan, S., Zhang, C. (2021). Modeling strategy for progressive failure prediction in lithium-ion batteries under mechanical abuse. *ETransportation*, 7, 100098. doi: <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2020.100098>
- Lazarenko, O., Pospolitak, V. (2021). Methods of testing lithium-ion batteries for fire hazard. *Fire Safety*, 39, 49–55. doi: <https://doi.org/10.32447/20786662.39.2021.06>
- Sheikh, M., Elmarakbi, M., Rehman, S., Elmarakbi, A. (2021). Internal Short Circuit Analysis of Cylindrical Lithium-Ion Cells Due to Structural Failure. *Journal of The Electrochemical Society*, 168(3), 030526. doi: <https://doi.org/10.1149/1945-7111/abec54>
- Zhang, X., Wierzbicki, T. (2015). Characterization of plasticity and fracture of shell casing of lithium-ion cylindrical battery. *Journal of Power Sources*, 280, 47–56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.01.077>
- Material No.: AISI 321. Available at: <https://woite-edelstahl.com/aisi321en.html>
- Xia, Y., Wierzbicki, T., Sahraei, E., Zhang, X. (2014). Damage of cells and battery packs due to ground impact. *Journal of Power Sources*, 267, 78–97. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.05.078>
- Kisters, T., Sahraei, E., Wierzbicki, T. (2017). Dynamic impact tests on lithium-ion cells. *International Journal of Impact Engineering*, 108, 205–216. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2017.04.025>
- Xu, J., Liu, B., Wang, L., Shang, S. (2015). Dynamic mechanical integrity of cylindrical lithium-ion battery cell upon crushing. *Engineering Failure Analysis*, 53, 97–110. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.03.025>
- Xu, J., Liu, B., Wang, X., Hu, D. (2016). Computational model of 18650 lithium-ion battery with coupled strain rate and SOC dependencies. *Applied Energy*, 172, 180–189. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.108>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.275547**ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ НАВАНТАЖЕНОСТІ КУЗОВА НАПІВВАГОНА З ОБШИВКОЮ БОКОВИХ СТІН ІЗ ГОФРОВАНИХ ЛИСТІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РЕЖИМАХ (с. 6–14)****Г. Л. Ватуля, А. О. Ловська, С. С. Мямлін, А. В. Рибін, В. П. Нерубацький, Д. А. Гордієнко**

Об'єктом дослідження є процеси виникнення, сприйняття та перерозподілу навантажень в кузові універсального напіввагона з обшивкою із гофрованих листів.

Для покращення міцності листів обшивки пропонується найбільш навантажену за висотою зону (1/3 від нижнього обв'язування) посилювати горизонтальними гофрами. Визначення геометричних параметрів гофр здійснено за моментом опору листа. Проведено визначення динамічної навантаженості кузова напіввагона з удосконаленою обшивкою шляхом математичного моделювання. До уваги прийнято коливання підсакування, тобто поступальні переміщення кузова відносно вертикальної осі. Результати розв'язку математичної моделі дозволили зробити висновок, що досліджувані показники динаміки знаходяться в межах допустимих, а хід руху вагона оцінюється як "відмінний".

Здійснено розрахунок на міцність кузова напіввагона з удосконаленою обшивкою. Встановлено, що міцність кузова напіввагона при основних експлуатаційних режимах навантаження забезпечується. За результатами розрахунків статичної міцності проведено розрахунок на втомну міцність кузова напіввагона. Необхідно сказати, що втомна міцність обшивки кузова збільшується на 3,7 % у порівнянні з типовою.

Особливістю отриманих результатів є те, що запропоноване удосконалення обшивки можливо здійснювати не тільки на стадії проектування, а і ремонтів вагонів.

Сферою практичного використання результатів є машинобудівна галузь, зокрема залізничний транспорт. При цьому, умовами практичного застосування результатів дослідження є дотримання вимог щодо вантажно-розвантажувальних робіт напіввагонів.

Результати проведених досліджень сприятимуть створенню рекомендацій щодо проектування сучасних конструкцій напіввагонів та підвищенню ефективності їх експлуатації.

Ключові слова: навантаженість напіввагона, міцність кузова, момент опору обшивки, індикатор біаксіальності кузова.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277911**ВИЗНАЧЕННЯ ВТОМНОЇ ПОВЕДІНКИ КОМПОЗИТНОЇ ОДНОСТРУННОЇ КОНСТРУКЦІЇ НА ОСНОВІ КВАЗИСТАТИЧНОГО МЕТОДУ (с. 15–23)****Ali Talib Shomran, Batool Mardan Faisal, Emad Kamil Hussein, Thiago Santos, Kies Fatima**

У цьому дослідженні механічна поведінка композитної однострунної конструкції була піддана числовому аналізу, щоб краще зрозуміти її властивості. Як основний матеріал для процесу моделювання використовувався вуглецевий епоксид IM7/8552 з квазіізотропними Layups. Результати числового аналізу, проведеного на конструкції, коли вона перебувала в статичному стані, були введені в структурний інструмент, розроблений програмою ANSYS. Фундаментальні граничні умови були визначені на основі інформації, отриманої від випробувань. Статичні сили із сумарною величиною 13,7 кН застосовуються до композитної однострунної конструкції. Доведено, що напруження зсуву, напрямна деформація, напруги фон Мізеса та повна деформація впливають на механічну поведінку матеріалу, і цей ефект було продемонстровано. Розрахунки показують, що існує максимальна величина вигину, яка може мати місце як прямий результат прикладеного навантаження, і ця величина дорівнює 0,0147. Внаслідок застосування тиску 13,7 кН напруга фон-Мізеса, яку також часто називають порівнянними напругами, досягла 51,9 МПа. Напруги зсуву були оцінені за трьома різними планами, і було виявлено, що напруга зсуву, прикладена до площини XY, досягла максимуму 15 МПа, але напруга зсуву, прикладена до площини XZ, досягла максимуму 9,8 МПа. У цей час напруга зсуву на площині YZ досягла рівня 1,5 МПа.

Ключові слова: спрямована деформація, аналіз зсуву, загальна деформація, еквівалентні напруження, композиційна структура.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277342**ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ ТЕЧІЇ В ОБЛАСТІ МІСЦЕВИХ ОПОРІВ РІЗНИХ ТИПІВ З УРАХУВАННЯМ ГІДРОДИНАМІЧНИХ УМОВ ВХОДУ В ПОЧАТКОВУ ДІЛЯНКУ (с. 24–32)****С. В. Носко, Д. В. Костюк, О. С. Галецький, І. В. Ночніченко**

Досліджено вплив гідродинамічних умов входу в початкову ділянку каналу, розташовану після місцевих опорів різного типу. Показано, що втрати напору в арматурі і вигинах трубопроводів та в різних регулюючих елементах можуть в декілька разів бути вище, ніж у прямих ділянках трубопроводу. Встановлено, що припущення про прямокутну форму епюри швидкостей на вході в гідродинамічну початкову ділянку не відповідає картині течії в реальних каналах технологічного обладнання. Доведено, що при прояві сил інерції в потоці на початковій ділянці каналу зазвичай зростають гідродинамічні втрати енергії, значно деформуються поля швидкостей та напруги. Завдяки цьому стало доцільним провести дослідження процесів протікання в'язких рідин у початковій ділянці, розташованій після місцевих опорів різного типу. Експериментальними та аналітичними дослідженнями підтверджено, що існує суттєвий вплив граничних умов на вході в початкову ділянку на формування епюри швидкостей і втрати енергії на її довжині. Представлено аналітично-чисельне рішення системи диференціальних рівнянь, що описують таку течію. У ході рішення системи рівнянь,

шляхом відповідних перетворень, набуває вигляду нелінійного інтегрально-диференціального рівняння. Це дає можливість отримати коректні залежності для визначення довжини розподілу швидкостей і втрат енергії на досліджуваній ділянці каналу. Отримані результати розрахунків полів швидкості в області місцевих опорів добре узгоджуються з відомими уявленнями картини течії, що спостерігається у фізичних експериментах та результатах аналітичних рішень. Кількісне розходження результатів коливається в межах 12–20 % в залежності від числа Рейнольдса. Таким чином, є підстави стверджувати, що результати даних досліджень можуть бути основою для розробки методики гідродинамічного розрахунку, спрямованого на конструктивно-експлуатаційне вдосконалення існуючого та проєктованого технологічного обладнання.

Ключові слова: місцеві опори різного типу, умови входу в початкову ділянку, чисельне рішення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.278001

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЗАКОНА НЕСТАЦІОНАРНОГО ЛАМІНАРНОГО ПОТОКУ В'ЯЗКОЇ РІДИНИ У ВХІДНІЙ СЕКЦІЇ КРУГЛОЇ ТРУБИ (с. 33–42)

Arestak Sarukhanyan, Yeghiazar Vardanyan, Pargev Baljyan, Garnik Vermishyan

Дослідження закономірностей зміни гідродинамічних параметрів в умовах нестационарної течії на вході циліндричної труби та початкового довільного розподілу швидкостей у вхідному перетині проведено на основі рівнянь приграничного шару. Сформовано крайову задачу за умови вісьосиметричної зміни течії. Граничні умови вибиралися відповідно до схеми довільного розподілу швидкостей на вхідній ділянці. Наведено загальний розв'язок апроксимуючих рівнянь Нав'є-Стокса в залежності від початкових умов і числа Рейнольдса. Відповідно до виду течії встановлюються крайові умови задачі та формулюється крайова задача. Отримано закономірності зміни швидкостей по довжині у вхідній області для постійного та параболічного розподілу швидкостей у вхідних перерізах. Отримано аналітичні рішення, що дозволяють отримати закономірності зміни швидкостей і тисків у бік потоку на будь-якій ділянці і в будь-який час. Для зазначених випадків шляхом комп'ютерного аналізу були побудовані зведені графіки зміни швидкості на різних ділянках по довжині вхідного переходу для різних часових умов. За отриманими складеними графіками побудовано закономірності зміни по всій довжині перехідної ділянки вхідної області, що дозволяє отримати швидкість течії рідини в будь-якій точці перетину. Довжину перехідної зони можна оцінити за умови досягнення певного відсотка (99 %) максимальної швидкості потоку.

Запропоновані рішення створюють умови для правильної конструкції окремих вузлів гідромеханічного обладнання.

Ключові слова: циліндрична труба, впускний перетин, нестационарна течія, в'язка рідина, розподіл швидкостей.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277909

ОПТИМІЗАЦІЯ ТОПОЛОГІЇ ДЛЯ ІЗОТРОПНИХ ПРУЖНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ СТІЛЬНИКОВОЇ МОЗАЇКИ (с. 43–49)

Ngoc-Tien Tran

Оптимізація топології набуває популярності як основний інструмент для інженерів на початкових етапах проєктування. По суті, область дизайну розбивається на окремі пікселі, причому щільність матеріалу кожного елемента або точки сітки є змінною дизайну. Потім проблема оптимізації вирішується за допомогою математичного програмування та методів оптимізації, які спираються на аналітичний розрахунок градієнта. У цьому дослідженні досліджується оптимізація топології за допомогою стільникових елементів мозаїки. Шестикутні елементи мають можливість гнучко з'єднувати два сусідніх елемента. Використання гексагонального елемента обмежує появу шахового порядку скінченними елементами чотирикутного стандартного типу Лагранжа. Розробляється математична модель з цільовою функцією, яка є мінімальним значенням відповідності області проєктування. Матриця жорсткості елемента будується з використанням матриці деформації-переміщення та конститутивної матриці, припускаючи одиничний модуль Юнга. Крім того, оптимальні умови встановлюються за допомогою множників Лагранжа. Для підвищення ефективності оптимізації, запобігання досягненню алгоритмом локального оптимального стану та прискорення конвергенції використовуються два фільтри фільтрації чутливості та щільності. Якщо використовується запропонований фільтр, цільова функція досягає значення $c=173,0293$ і збіжність досягається після 200 ітерацій. Навпаки, без використання фільтра цільова функція має більше значення ($c=186,7922$) і збіжність відбувається на 27-й ітерації. Результати мають важливе значення для оптимізації топології для задоволення конкретних вимог граничних умов. У цьому документі пропонується новий підхід із використанням комбінації фільтрів для покращення оптимізації топології за допомогою шестикутних елементів у майбутніх програмах.

Ключові слова: оптимізація топології, граничні умови, ізотропний матеріал, чутливість фільтра, стільникова мозаїка.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277609

ПРАКТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІЦНЕННЯ НА ЗСУВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСОЛЕЙ СТАЛЕВИМИ ПЛАСТИНАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ SEA (с. 50–60)

Doaa Talib Hashim, Ali Wathiq Abdulghani, Hasan Mohammed Ahmed Albegmprli

Дослідження мало на меті визначити можливість зміцнення залізобетонних консолей за допомогою багатьох методів зміцнення. Дослідження проаналізувало поведінку залізобетонних консолей за широкого діапазону змінних. Теоретичне дослідження складалося з дванадцяти моделей, армованих стрижнями GFRP зі зміцненням сталевими пластинами. Аналіз скінчених елементів за допомогою ANSYS APDL використовувався для перевірки п'яти зразків. Це дослідження стосується статичного нелінійного моделювання для дослідження поведінки залізобетонних консолей, посиленних зсередини та зовні. Перевірка з експериментальною роботою продемонструвала задовільну відповідність у співвідношенні навантаження-переміщення, граничного навантаження та переміщення, а також

режиму руйнування. Було реалізовано параметричне дослідження, яке включало зміцнення чотирьох бетонних консолей зовні та чотирьох конструкцій зсередини сталеву пластину в багатьох конфігураціях, а решта трьох моделювали з різною міцністю на стиск (30, 40 і 50) МПа. Зовнішнє зміцнення включало розміщення сталеві пластини зовні навколо консолі у U-подібній формі та часткове зміцнення смугами та нижньою плитою. Моделі з внутрішнім посиленням передбачали розміщення сталеві пластини всередині замість стремен. Результати виявили, що зміцнення забезпечило збільшення жорсткості, пластичності та поглинання енергії на 37 %, 4 % і 26 %. Крім того, у разі повного зовнішнього зміцнення більше, ніж внутрішньої модернізації, відбувається максимальне покращення розтріскування та кінцевої несучої здатності. Зовнішнє зміцнення було кращим, ніж внутрішнє, завдяки ефекту обмеження бетону. Методи зміцнення вплинули на розподіл напруги та структуру тріщин, і в консолях із зовнішніми сталевими пластинами з'явилося більше тріщин.

Ключові слова: нелінійний скінчений елемент, залізобетонна консоль, сталева пластина, прогин, поглинання енергії, розтріскування, міцність на зсув, параметричне дослідження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277254

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ МОДЕЛЮВАННЯ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ КОЛИВАНЬ ВІЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ РІДИНИ В ТРАКТОРНІЙ ЦИСТЕРНІ (с. 61–68)

А. П. Кожушко, Є. С. Пелипенко, С. С. Кравченко, В. Д. Даниленко

Розглянуто вплив гідродинамічних процесів при русі вільної поверхні рідини в частково заповнених тракторних цистернах. Плескання рідини в частково заповнених ємностях є доволі суттєвою проблемою при дослідженні функціональної стабільності руху в морській, аерокосмічній, залізничній та автомобільній галузях. Адже вона впливає на продуктивність та безпеку руху. Такий же ефект помічено і при виконанні транспортних робіт з перевезення рідких вантажів в сільськогосподарському секторі. Це стало можливим за рахунок збільшення транспортних швидкостей колісними тракторами. В методиці за допомогою використання теорії поверхневих хвиль Релея отримано лінеаризовану задачу руху вільної поверхні рідини. На основі теореми Гельмгольца виокремлено складові скалярного та векторного потенціалів Лапласового поля вектора швидкості рідини. Розглянуто потенціальну задачу для поступального руху рідини, в якій вихрова складова поля відсутня. Замість потенціалу швидкостей рідини введено скалярний потенціал зміщення рідини у поверхневих хвилях Релея. Порівнюючи результати обчислення хлюпання рідини з роботами інших вчених, з'ясовано високу збіжність показників власних частот парціальних осциляторів в 3D просторі. Це помітно в останній чверті заповнення ємності, в якій відбуваються значні зсуви глибинної рідини. Особливістю отриманих результатів є впровадження замість реальної форми ємності еквівалентну форму паралелепіпеду, остаточний вид якої залежить від рівня наповненості. Виокремлено частотні властивості руху вільної поверхні рідини за типорозміром цистерн, які використовуються в сільському господарстві. Запропонована удосконалена методологія може бути використана для підвищення стійкості, керованості та плавності ходу при експлуатації цистерн колісним трактором.

Ключові слова: циліндрична ємність, вільна поверхня, еквівалентна форма, власна частота, парціальний осцилятор.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.276780

ОЦІНКА ВПЛИВУ МЕХАНІЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ КОРПУСУ ЛІТІЙ-ІОННОГО ЕЛЕМЕНТУ ЖИВЛЕННЯ PANASONIC NCR18650B НА ЙОГО ПОЖЕЖНУ НЕБЕЗПЕКУ (с. 69–78)

О. В. Лазаренко, Т. В. Гембара, В. І. Посполітак, Д. П. Войтович

Розглянуто деформаційні властивості корпусу літій-іонного елемента живлення (ЛІЕЖ) Panasonic NCR18650B ($\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$) під час дії на нього статичного навантаження за різних способів закріплення елемента. Визначення властивостей ЛІЕЖ, за відповідних умов, дозволяє заповнити прогалину в існуючих дослідженнях, що в подальшому забезпечить безпеку їх використання.

За результатами експериментальних досліджень було визначено жорсткість та температурні показники ЛІЕЖ у відповідності до прикладеного навантаження. Встановлено найбільш небезпечний, з точки зору пожежної небезпеки, варіант прикладення статичного навантаження на елемент.

Експериментально встановлено, що в середньому корпус ЛІЕЖ Panasonic NCR18650B може витримати навантаження близько $80 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$ (або $7,84 \text{ МПа}$) без подальшого займання. Збільшення сили тиску в межах понад $85\text{--}90 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$ призводить до виникнення незворотної ланцюгової термохімічної реакції, що впродовж 2–3 секунд часу призводить до виникнення горіння ЛІЕЖ. Стискування ЛІЕЖ рівномірно по його бічній поверхні показало виникнення горіння при навантаженні на елемент, що склало $150 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$. Середня температура елемента під час горіння, спричиненого деформацією корпусу, становить $350\text{--}450 \text{ }^\circ\text{C}$, а максимальне значення зафіксовано у межах $580\text{--}680 \text{ }^\circ\text{C}$.

Розроблена математична модель на основі математичної теорії тонких оболонок адекватно описує напружено-деформований стан циліндричного корпусу елементів під дією силового зосередженого та розподіленого навантаження. Розрахункова модель задовільно верифікується експериментальними результатами, дає змогу вдосконалити міцність та жорсткість корпусу ЛІЕЖ шляхом відповідного вибору марки сталі її корпусу, геометричних розмірів та конструктивного способу її закріплення.

Ключові слова: Panasonic NCR18650B, механічна деформація, температура горіння, математична модель, пожежна небезпека.