

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.262558

INVESTIGATION OF FLEXURAL AND SHEAR FAILURE MODES OF TAPERED CASTELLATED STEEL BEAMS USING EXPANSION PLATES (p. 6–13)

Muslim Abdul-Ameer Al-Kannoon

University of Kufa, Kufa, Al-Najaf, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2603-3436>

Hayder Wafi AL-Thabhawe

University of Kufa, Kufa, Al-Najaf, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7658-5496>

Using modern technologies for fabricating steel, I-beams can be easily made by welding, and hot-rolled beams can often be produced at an economical price with slender webs and equal flanges. Experimental and theoretical studies of the behavior of tapered castellated steel beams were carried out. Due to the cost reductions associated with tapered castellated steel beams, they are a feasible alternative to prismatic components. This study assessed the influence of tapered castellated steel beams (TCBs) with simply supported end conditions experimentally and theoretically. Four three-point bending tests on TCBs with H/h values of 1, 1.2, 1.4 and 1.6 were conducted utilizing a standard parent I-section beam (IPE140) as the control specimen. The test findings include the ultimate load vs. mid-span deflection response curves and failure mechanisms. The testing findings indicated that the TCBs' ultimate load capacity might be up to 140 percent of that of the parent section. The Abaqus program was used to conduct a finite element (FE) analysis of TCB, which allows for material and geometric nonlinearity. The derived finite element models exhibit excellent agreement with the experimental results in terms of ultimate load capacity vs. mid-span deflection response and failure mechanisms. Based on the results of the work, TCBs can be used for increasing the strength and stiffness of the I-section parent beam with adding expansion plates. The maximum load capacity of TCBs can be enhanced when adding expansion plates up to 40 % above that of the parent beam. A TCB has lower ductility than its parent beam. Moreover, a TCB fulfills serviceability requirements since its mid-span depth exceeds that of its parent beam.

Keywords: castellated beam, local buckling, steel beam, tapered, web-post buckling, Vierendeel mechanism.

References

- Boyer, J. P. (1964). Castellated Beams - New Developments. *Engineering Journal, American Institute of Steel Construction*, 1, 104–108.
- Zirakian, T., Showkati, H. (2006). Distortional buckling of castellated beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 62 (9), 863–871. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2006.01.004>
- Wakchaure, M. R., Sagade, A. V. (2012). Finite element analysis of castellated steel beam. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 2 (1), 365–372. Available at: https://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/civil_engineering/Finite%20Element.pdf
- Tsavdaridis, K. D., D'Mello, C. (2011). FE Modelling Techniques for Web-Post Buckling Response. In 6th European Conference on Steel and Composite Structures. Available at: https://www.researchgate.net/publication/348706053_FE_Modelling_Techniques_for_Web-Post_Buckling_Response_Perforated_Steel_Beams_with_Closely_Spaced_Web_Openings_of_Various_Shapes

- Soltani, M. R., Bouchaïr, A., Mimoune, M. (2012). Nonlinear FE analysis of the ultimate behavior of steel castellated beams. *Journal of constructional steel research*, 70, 101–114. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2011.10.016>
- Maulana, T. I. Soebandono, B., Susanti, A. (2019). Stress and Deformation Study on Castellated Steel Beam with Tapered Shape and Hexagonal Openings. *Sinergi*, 23 (1), 61–69. doi: <https://doi.org/10.22441/sinergi.2019.1.009>
- Matviichuk, V., Nesterenkov, V., Berdnikova, O. (2022). Determining the influence of technological parameters of the electron-beam surfacing process on quality indicators. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (115)), 21–30. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253473>
- Tankova, T., Martins, J. P., da Silva, L. S., Marques, L. (2017). 05.10: Numerical model for the buckling behaviour of tapered steel members based on experimental tests. *ce/papers*, 1 (2-3), 1106–1115. doi: <https://doi.org/10.1002/cepa.151>
- Jamadar, A. M., Kumbhar, P. D. (2015). Parametric study of castellated beam with circular and diamond shaped openings. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2 (2), 715–722. Available at: <https://www.irjet.net/archives/V2/i2/Irjet-v2i2129.pdf>
- International building code (2018). International Code Council Inc. (formerly BOCA ICBO and SBCCI), 4051, 60478–65795.
- ASTM E8. ASTM E8/E8M standard test methods for tension testing of metallic materials 1 (2010). *Annu. B. ASTM Stand.* 4, no. C, 1–27.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.261585

JUSTIFYING THE EXPEDIENCY OF USING COMPOSITE COMPONENTS IN THE LONG-WHEELBASE PLATFORM CAR (p. 14–22)

Oleksij Fomin

State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2387-9946>

Alyona Lovska

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8604-1764>

Anna Fomina

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University,
Severodonetsk, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9810-8997>

Gregori Boyko

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University,
Severodonetsk, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5065-3200>

This paper reports the improved load-bearing design of a long-wheelbase platform car for the transportation of containers. The improvement involves the construction of a special structure to accommodate fitting stops made from composite material. The design of the add-on structures provides an opportunity to reduce dynamic loads between containers and the platform car at the expense of elastic friction bonds.

The dynamic load on the bearing structure of the platform car was determined. To this end, a mathematical model was built that takes into consideration its movement in the vertical plane. The results of resolving the mathematical problem established that the derived values of accelerations were 5.3 % and 6.2 %, respectively, lower than those acting on the platform car and container, taking into consideration the typical scheme of their interaction.

To ensure the strength of the add-on structure, the calculation was performed using a finite-element method. It was established that the maximum stresses occurred in the inclined parts of the add-on structure and were 113.6 MPa, which is much lower than the permissible ones.

In addition, within the framework of this study, a dynamic load on the improved design of the platform car was determined when it moves empty. The calculation results showed that the defined indicators of dynamics were within the permissible limits while the ride of the platform car was “good”.

The coefficient of resistance to fatigue of the load-bearing structure of the platform car was determined, taking into consideration the new scheme of interaction with containers. Taking the proposed solutions into account, it becomes possible to increase the resistance coefficient of fatigue of the load-bearing structure of the platform car by 8 % compared to the typical scheme.

The study reported here could help reduce the cost of maintaining combined transport vehicles, as well as improve the efficiency of their operation.

Keywords: transport mechanics, platform car, container, load-bearing structure, composite material, fatigue resistance.

References

- Pospelov, B., Rybka, E., Meleshchenko, R., Borodych, P., Gornostal, S. (2019). Development of the method for rapid detection of hazardous atmospheric pollution of cities with the help of recurrence measures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (97)), 29–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155027>
- Danchenko, Y., Andronov, V., Barabash, E., Obigenko, T., Rybka, E., Meleshchenko, R., Romina, A. (2017). Research of the intramolecular interactions and structure in epoxyamine composites with dispersed oxides. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (19 (90)), 4–12. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118565>
- Bhattacharyya, R., Hazra, A. (2013). A study on stress analysis of ISO tank container. 58th Congress of The Indian Society of Theoretical and Applied Mechanics. Available at: https://www.researchgate.net/publication/316320046_A_study_on_stress_analysis_of_ISO_tank_container
- Lisowski, E., Czyzycki, W. (2011). Transport and storage of LNG in container. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 18 (3), 193–201. Available at: https://ilot.lukasiewicz.gov.pl/kones/2011/3_2011/2011_lisowski_czyzycki_transport_and_storage.pdf
- Liguori, A., Formato, A., Pellegrino, A., Vilecco, F. (2021). Study of Tank Containers for Foodstuffs. *Machines*, 9, 44. doi: <https://doi.org/10.3390/machines9020044>
- Bekturov, K. B., Zaripov, R. Yu., Medvedev, A., Kaerbekov, D. (2017). Perspektivy primeneniya kompozitsionnykh materialov v gruzovom vagonostroenii. *Nauka i tekhnika Kazakhstana*, 1-2, 25–33. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-primeneniya-kompozitsionnyh-materialov-v-gruzovom-vagonostroenii>
- Mistry, P. J., Johnson, M. S., Galappaththi, U. I. K. (2021). Selection and ranking of rail vehicle components for optimal lightweighting using composite materials. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 235 (3), 390–402. doi: <https://doi.org/10.1177/0954409720925685>
- Street, G. E., Mistry, P. J., Johnson, M. S. (2021). Impact Resistance of Fibre Reinforced Composite Railway Freight Tank Wagons. *Journal of Composites Science*, 5, 152. doi: <https://doi.org/10.3390/jcs5060152>
- Placzek, 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>
- Wróbel, A., Placzek, M., Buchacz, A. (2017). An Endurance Test of Composite Panels. *Solid State Phenomena*, 260, 241–248. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.260.241>
- Lang, D., Radford, D. W. (2021). Design Optimization of a Composite Rail Vehicle Anchor Bracket. *Urban Rail Transit*, 7 (2), 84–100. doi: <https://doi.org/10.1007/s40864-021-00144-9>
- Jagadeesh, P., Puttegowda, M., Oladijo, O. P., Lai, C. W., Gorbatyuk, S., Matykiewicz, D. et. al. (2022). A comprehensive review on polymer composites in railway applications. *Polymer Composites*, 43 (3), 1238–1251. doi: <https://doi.org/10.1002/pc.26478>
- Han, Y., Sun, W., Zhou, J., Gong, D. (2019). Vibration Analysis of Composite Multilayer Floor of High-Speed Train. *Shock and Vibration*, 2019, 1–13. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/6276915>
- Lovska, A., Fomin, O., Pistek, V., Kucera, P. (2020). Dynamic load modelling within combined transport trains during transportation on a railway ferry. *Applied Sciences*, 10 (16), 5710. doi: <https://doi.org/10.3390/app10165710>
- Fomin, O., Gorbunov, M., Gerlici, J., Vatulina, 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 dynamiki vahoniv*. Kyiv: KUETT, 269.
- 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>
- Lovska, A. (2015). Computer simulation of wagon body bearing structure dynamics during transportation by train ferry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (75)), 9–14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.43749>
- Kir'yanov, D. V. (2006). *Mathcad 13*. Sankt-Peterburg: BKHV. Peterburg, 608.
- D'yakonov, V. (2000). *MATHCAD 8/2000*. Sankt-Peterburg: Piter, 592.
- Pistek, V., Kucera, P., Fomin, O., Lovska, A. (2020). Effective Mistuning Identification Method of Integrated Bladed Discs of Marine Engine Turbochargers. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8 (5), 379. doi: <https://doi.org/10.3390/jmse8050379>
- Lovska, A., Fomin, O., Kucera, P., Pistek, V. (2020). Calculation of loads on carrying structures of articulated circular-tube wagons equipped with new draft gear concepts. *Applied Sciences*, 10 (21), 7441. doi: <https://doi.org/10.3390/app10217441>
- Krol, O., Sokolov, V. (2020). Modeling of Spindle Node Dynamics Using the Spectral Analysis Method. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing III*, 35–44. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7_4
- Krol, O., Porkuian, O., Sokolov, V., Tsankov, P. (2019). Vibration stability of spindle nodes in the zone of tool equipment optimal parameters. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, 72 (11), 1546–1556. doi: <https://doi.org/10.7546/crabs.2019.11.12>
- Gallager, R. (1984). *Metod konechnykh elementov*. Osnovy. Moscow: Mir, 428.
- Alyamovskiy, A. A. (2007). *SolidWorks/COSMOSWorks 2006–2007*. Inzhenerniy analiz metodom konechnykh elementov. Moscow: DMK, 784.
- Alyamovskiy, A. A. (2010). *COSMOSWorks*. Osnovy rascheta konstruktivnykh v srede SolidWorks. Moscow: DMK, 784.
- Sepe, R., Pozzi, A. (2015). Static and modal numerical analyses for the roof structure of a railway freight refrigerated car. *Frattura ed Integrità Strutturale*, 9 (33), 451–462. doi: <https://doi.org/10.3221/igf-esis.33.50>

29. Kondratiev, A. (2019). Improving the mass efficiency of a composite launch vehicle head fairing with a sandwich structure. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (102)), 6–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184551>
30. Kondratiev, A., Gaidachuk, V., Nabokina, T., Kovalenko, V. (2019). Determination of the influence of deflections in the thickness of a composite material on its physical and mechanical properties with a local damage to its wholeness. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (100)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.174025>
31. Turpak, S. M., Taran, I. O., Fomin, O. V., Tretiak, O. O. (2018). Logistic technology to deliver raw material for metallurgical production. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 1, 162–169. doi: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/3>
32. Lovska, A. (2015). Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge. *Metallurgical and Mining Industry*, 1, 49–54. Available at: https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_1/10%20Lovska.pdf
33. Tkachenko, V., Saponova, S., Kulbovskiy, I., Fomin, O. (2017). Research into resistance to the motion of railroad undercarriages related to directing the wheelsets by a rail track. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (89)), 65–72. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109791>
34. Fomin, O. (2014). Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars. *Metallurgical and Mining Industry*, 5, 40–44. Available at: <https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/9-Fomin.pdf>
35. Vatulia, G. L., Petrenko, D. H., Novikova, M. A. (2017). Experimental estimation of load-carrying capacity of circular, square and rectangular CFST columns. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 6, 97–102. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2017_6_16
36. Vatulia, G., Lobiak, A., Orel, Y. (2017). Simulation of performance of circular CFST columns under short-time and long-time load. *MATEC Web of Conferences*, 116, 02036. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711602036>
37. 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, 902. doi: <https://doi.org/10.3390/jmse8110902>
38. Lovska, A. (2018). Simulation of loads on the carrying structure of an articulated flat car in combined transportation. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.3), 140. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19724>
39. Ustich, P. A., Karpych, V. A., Ovechnikov, M. N. (1999). *Nadezhnost' rel'sovogo netyagovogo podvizhnogo sostava*. Moscow, 415.
40. Senko, V. I., Makeev, S. V., Komissarov, V. V., Skorokhodov, S. A. (2018). Features of determination of coefficient of the stock resistance of fatigue of designs of the rolling stock. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta: Nauka i transport*, 1 (36), 5–9.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263460

SOLUTION OF THE PROBLEM OF THE THEORY OF ELASTICITY AND ANALYSIS OF THE STRESS STATE OF A FIBROUS COMPOSITE LAYER UNDER THE ACTION OF TRANSVERSE COMPRESSIVE FORCES (p. 23–30)

Vitaly Miroshnikov

National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9491-0181>

Oleksandr Savin

National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1577-6990>

Basheer Younis

National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5693-6954>

Vyacheslav Nikichanov

National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5913-1043>

An analytical-numerical solution of the spatial problem of elasticity theory for a composite in the form of a layer with two longitudinal endless continuous cylindrical inclusions is proposed. Homogeneous, isotropic materials of the layer and inclusions differ from each other in the modulus of elasticity and Poisson's ratio. Normal stresses are set on the upper and lower boundaries of the layer. The object of study is the stress state of such a composite. The problem is the lack of a high-precision method for calculating multiply connected bodies of this type. The solution of the problem is based on the generalized Fourier method for the Lamé equations in various coordinate systems. The problem is reduced to an infinite system of linear algebraic equations, which is solved by the reduction method. In a numerical study, the stress state was obtained inside the composite bodies, within their conjugations, and on the isthmus between inclusions. It has been established that extreme stresses $\sigma_p = -0.9306$ MPa, $\sigma_f = -0.5595$ MPa, $\tau_{pf} = -0.315$ MPa occur on the mating face. Analysis of the stress state indicates the need to take into account the normal stresses on the mating surface. This is due to the presence of a binder, which may differ in physical characteristics from the main components of the composite. The results have logical physical correctness and, in simplified versions, are fully consistent with the results of similar problems from other approved sources. In the work, the transition formulas in the basic solutions between different coordinate systems, the conjugation conditions for different bodies, and the strict fulfillment of the equilibrium conditions for given boundary functions are simultaneously applied. This made it possible to obtain a high-precision solution of a new problem in the theory of elasticity for a layer with cylindrical inclusions and given only stresses on the boundary surfaces. The proposed method of calculation can be applied in the design of structures made of fibrous composites in the aircraft industry and construction.

Keywords: layer with cylindrical inclusions, fibrous composite, addition theorems, reduction method.

References

1. Balabai, R. M., Zdeschchyts, A. V. (2018). Nanocellulose as the Main Composite Component of Electromechanical Sensors. *Ukrainian Journal of Physics*, 63 (9), 828. doi: <https://doi.org/10.15407/ujpe63.9.828>
2. Aitharaju, V., Aashat, S., Kia, H., Satyanarayana, A., Bogert, P. (2016). Progressive damage modeling of notched composites. NASA Technical Reports Server. Available at: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20160012242>
3. Streng, G., Fiks, Dzh. (1977). *Teoriya metoda konechnykh elementov*. Moscow: Mir, 352.
4. Daschenko, A. F., Lazareva, D. V., Sur'yaninov, N. G. (2007). *ANSYS v zadachakh inzhenernoy mekhaniki*. Odessa: Astroprint, 484.
5. Khoroshun, L. P., Nazarenko, L. V. (2014). *Nonlinear Deformation Properties of Composites with Transversely Isotropic Components*.

- International Applied Mechanics, 50 (3), 253–262. doi: <https://doi.org/10.1007/s10778-014-0628-8>
6. Fallahi, H., Taheri-Behrooz, F., Asadi, A. (2019). Nonlinear Mechanical Response of Polymer Matrix Composites: A Review. *Polymer Reviews*, 60 (1), 42–85. doi: <https://doi.org/10.1080/15583724.2019.1656236>
 7. Taheri-Behrooz, F., Bakhshan, H. (2016). Characteristic length determination of notched woven composites. *Advanced Composite Materials*, 27 (1), 67–83. doi: <https://doi.org/10.1080/09243046.2016.1232007>
 8. Taheri-Behrooz, F., Bakhshi, N. (2016). Neuber's rule accounting for the material nonlinearity influence on the stress concentration of the laminated composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 36 (3), 214–225. doi: <https://doi.org/10.1177/0731684416680302>
 9. Bakhshi, N., Taheri-Behrooz, F. (2019). Length effect on the stress concentration factor of a perforated orthotropic composite plate under in-plane loading. *Composite Materials and Engineering*, 1 (1), 71–90. Available at: <http://www.techno-press.org/content/?page=article&journal=cme&volume=1&num=1&ordernum=5>
 10. Ugrimov, S., Smetankina, N., Kravchenko, O., Yareshchenko, V. (2021). Analysis of Laminated Composites Subjected to Impact. *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2020*, 234–246. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7_19
 11. Rodichev, Y. M., Smetankina, N. V., Shupikov, O. M., Ugrimov, S. V. (2018). Stress-Strain Assessment for Laminated Aircraft Cockpit Windows at Static and Dynamic Loads. *Strength of Materials*, 50 (6), 868–873. doi: <https://doi.org/10.1007/s11223-019-00033-4>
 12. Smetankina, N., Ugrimov, S., Kravchenko, I., Ivchenko, D. (2019). Simulating the Process of a Bird Striking a Rigid Target. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II*, 711–721. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_71
 13. Smetankina, N., Kravchenko, I., Merculov, V., Ivchenko, D., Malykhina, A. (2020). Modelling of Bird Strike on an Aircraft Glazing. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 289–297. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-37618-5_25
 14. Ghasemi, A. R., Razavian, I. (2012). Measurement of Variation in Fracture Strength and Calculation of Stress Concentration Factor in Composite Laminates with Circular Hole. *Journal of Solid Mechanics*, 4 (3), 226–236. Available at: https://jms.arak.iau.ir/article_514479_509c3e00525d93de836d940c48099af8.pdf
 15. Jafari, M., Bayati Chaleshtari, M. H., Ardalani, E. (2018). Determination of Optimal Parameters for Finite Plates with a Quasi-Square Hole. *Journal of Solid Mechanics*, 10 (2), 300–314. Available at: <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=594415>
 16. Dastjerdi, Sh., Yazdanparast, L. (2018). New Method for Large Deflection Analysis of an Elliptic Plate Weakened by an Eccentric Circular Hole. *Journal of Solid Mechanics*, 10 (3), 561–570. Available at: https://jms.arak.iau.ir/article_544403.html
 17. Abolghasemi, S., Eipakchi, H. R., Shariati, M. (2018). Investigation of Pre-buckling Stress Effect on Buckling Load Determination of Finite Rectangular Plates with Circular Cutout. *Journal of Solid Mechanics*, 10 (4), 816–830. Available at: https://jms.arak.iau.ir/article_545721.html
 18. Guz', A. N., Kubenko, V. D., Cherevko, M. A. (1978). *Difraktsiya uprugikh voln*. Kyiv: Nauk. dumka, 308.
 19. Grinchenko, V. T., Meleshko, V. V. (1981). *Garmonicheskie kolebaniya i volny v uprugikh telakh*. Kyiv: Nauk. Dumka, 284.
 20. Grinchenko, V. T., Ulitko, A. F. (1968). An exact solution of the problem of stress distribution close to a circular hole in an elastic layer. *Soviet Applied Mechanics*, 4 (10), 31–37. doi: <https://doi.org/10.1007/bf00886618>
 21. Volchikov, Vit. V., Vukolov, D. S., Storozhev, V. I. (2016). Diffraction of shear waves on internal tunnel cylindrical inhomogeneities in the form of a cavity and inclusion in the elastic layer with free face. *Mekhanika tverdogo tela*, 46, 119–133. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/123857>
 22. Nikolaev, A. G., Protsenko, V. S. (2011). *Obobshchenny metod Fur'e v prostranstvennykh zadachakh teorii uprugosti*. Kharkiv: Nats. aerokosm. universitet im. N.E. Zhukovskogo «KhAI», 344.
 23. Ukrainets, N., Murahovska, O., Prokhorova, O. (2021). Solving a one mixed problem in elasticity theory for half-space with a cylindrical cavity by the generalized Fourier method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (110)), 48–57. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229428>
 24. Nikolaev, O. G., Tanchik, E. A. (2016). Stresses in an Infinite Circular Cylinder with Four Cylindrical Cavities. *Journal of Mathematical Sciences*, 217 (3), 299–311. doi: <https://doi.org/10.1007/s10958-016-2974-z>
 25. Nikolaev, A. G., Tanchik, E. A. (2015). The first boundary-value problem of the elasticity theory for a cylinder with N cylindrical cavities. *Numerical Analysis and Applications*, 8 (2), 148–158. doi: <https://doi.org/10.1134/s1995423915020068>
 26. Nikolaev, A. G., Tanchik, E. A. (2016). Stresses in an elastic cylinder with cylindrical cavities forming a hexagonal structure. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 57 (6), 1141–1149. doi: <https://doi.org/10.1134/s0021894416060237>
 27. Nikolaev, A. G., Tanchik, E. A. (2016). Model of the Stress State of a Unidirectional Composite with Cylindrical Fibers Forming a Tetragonal Structure. *Mechanics of Composite Materials*, 52 (2), 177–188. doi: <https://doi.org/10.1007/s11029-016-9571-6>
 28. Protsenko, V. S., Popova, N. A. (2004). *Vtoraya osnovnaya kraevaya zadacha teorii uprugosti dlya poluprostranstva s krugovoy tsilindricheskoy polost'yu*. *Dop. NAN Ukrainy. Ser. Matematika, prirodnavstvo, tekhn. nauki*, 12, 52–58.
 29. Protsenko, V., Miroshnikov, V. (2018). Investigating a problem from the theory of elasticity for a half-space with cylindrical cavities for which boundary conditions of contact type are assigned. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (7 (94)), 43–50. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.139567>
 30. Miroshnikov, V. (2019). The study of the second main problem of the theory of elasticity for a layer with a cylindrical cavity. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 102, 77–90. doi: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2019.102.77-90>
 31. Miroshnikov, V., Denysova, T., Protsenko, V. (2019). The study of the first main problem of the theory of elasticity for a layer with a cylindrical cavity. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 103, 208–218. doi: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2019.103.208-218>
 32. Miroshnikov, V. Y. (2020). Stress State of an Elastic Layer with a Cylindrical Cavity on a Rigid Foundation. *International Applied Mechanics*, 56 (3), 372–381. doi: <https://doi.org/10.1007/s10778-020-01021-x>
 33. Miroshnikov, V. Y. (2019). Investigation of the Stress State of a Composite in the Form of a Layer and a Half Space with a Longitudinal Cylindrical Cavity at Stresses Given on Boundary Surfaces. *Journal of Mechanical Engineering*, 22 (4), 24–31. doi: <https://doi.org/10.15407/pmach2019.04.024>
 34. Miroshnikov, V. Y., Medvedeva, A. V., Oleshkevich, S. V. (2019). Determination of the Stress State of the Layer with a Cylindrical Elastic Inclusion. *Materials Science Forum*, 968, 413–420. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.968.413>
 35. Miroshnikov, V. (2019). Investigation of the Stress Strain State of the Layer with a Longitudinal Cylindrical Thick-Walled Tube and the Displacements Given at the Boundaries of the Layer.

Journal of Mechanical Engineering, 22 (2), 44–52. doi: <https://doi.org/10.15407/pmach2019.02.044>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.262337

IMPROVING THE CRACK RESISTANCE OF INCLINED CROSS-SECTIONS OF REINFORCED CONCRETE CONTAINMENT SHELLS IN AREAS OF EMERGENCY LOADS OF PUSHING (p. 31–41)

Ihor Karkhut

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9205-5118>

The object of this research was the crack resistance of inclined sections of concrete and reinforced concrete fragments of protective structures under the action of emergency dynamic loads. The characteristics of dangerous emergency dynamic loads on protective structures (seismic, aircraft attack), the experience of increasing the crack resistance of inclined sections with various materials and design measures under static effects have been described. Areas of influence of dynamic loads on reinforced concrete structures reinforced with horizontal grids near the upper and lower faces need to increase crack resistance and eliminate the risk of splitting in the mesh plane. Comparison of the results of experimental studies of inclined sections of protective structures in the area of influence of local emergency load showed the feasibility of such structural measures. Additional horizontal reinforcement near the pushing face increases crack resistance by 55–65%. When using the developed theoretical dependences, the error in determining the cracking forces and pushing strength does not exceed 20.7%.

Increased crack resistance is ensured by limiting the maximum diameters of the rods of horizontal grids and their pitch. Especially important is the arrangement of additional reinforcement in the middle zone, taking into account the actual tensile strength of concrete in the calculated dependences. Complete elimination of the danger of splitting in areas of probable action of emergency dynamic load in protective structures in the planes of the grids is recommended through the use of concrete of class not lower than C16/20, the use of reinforcement $\varnothing 12$ –14 mm. The optimal pitch of the rods is 50–125 mm. This makes it possible to increase the reliability of the design and operation of protective structures in case of emergency impacts, to reduce the cost of their repair after such impacts.

Keywords: protective structure, airplane crash, push angle, horizontal reinforcement, crack resistance of sections, nagel effect.

References

1. Bindi, D., Massa, M., Luzi, L., Ameri, G., Pacor, F., Puglia, R., Augliera, P. (2013). Pan-European ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods up to 3.0 s using the RESORCE dataset. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12 (1), 391–430. doi: <https://doi.org/10.1007/s10518-013-9525-5>
2. Boore, D. M., Stewart, J. P., Seyhan, E., Atkinson, G. M. (2014). NGA-West2 Equations for Predicting PGA, PGV, and 5% Damped PSA for Shallow Crustal Earthquakes. *Earthquake Spectra*, 30 (3), 1057–1085. doi: <https://doi.org/10.1193/070113eqs184m>
3. Bozorgnia, Y., Campbell, K. W. (2016). Vertical Ground Motion Model for PGA, PGV, and Linear Response Spectra Using the NGA-West2 Database. *Earthquake Spectra*, 32 (2), 979–1004. doi: <https://doi.org/10.1193/072814eqs121m>
4. Çağnan, Z., Akkar, S., Kale, Ö., Sandıkkaya, A. (2016). A model for predicting vertical component peak ground acceleration (PGA), peak ground velocity (PGV), and 5% damped pseudospectral acceleration (PSA) for Europe and the Middle East. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 15 (7), 2617–2643. doi: <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0063-9>
5. Du, W., Wang, G. (2012). A simple ground-motion prediction model for cumulative absolute velocity and model validation. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 42 (8), 1189–1202. doi: <https://doi.org/10.1002/eqe.2266>
6. Foulser-Piggott, R., Goda, K. (2015). Ground-Motion Prediction Models for Arias Intensity and Cumulative Absolute Velocity for Japanese Earthquakes Considering Single-Station Sigma and Within-Event Spatial Correlation. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105 (4), 1903–1918. doi: <https://doi.org/10.1785/0120140316>
7. Sedaghati, F., Pezeshk, S. (2017). Partially Nonergodic Empirical Ground-Motion Models for Predicting Horizontal and Vertical PGV, PGA, and 5% Damped Linear Acceleration Response Spectra Using Data from the Iranian Plateau. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107 (2), 934–948. doi: <https://doi.org/10.1785/0120160205>
8. Maksymovych, S., Krochak, O., Karkhut, I., Vashkevych, R. (2020). Experimental Study of Crack Resistance and Shear Strength of Single-Span Reinforced Concrete Beams Under a Concentrated Load at $a/d=1$. *Proceedings of EcoComfort 2020*, 277–285. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_34
9. Blikharskyi, Z. Ya., Karkhut, I. I. (2017). *Rozrakhunok i konstruiuvannya zghynanykh zalizobetonnykh elementiv*. Lviv: Vydavn. Lvivskoi politekhniki, 186.
10. Korenev, B. G., Smirnova, A. F. (Eds.) (1986). *Dinamicheskii raschet spetsial'nykh inzhenernykh sooruzheniy i konstruktsiy*. Spravochnik proektirovshchika. Moscow: Stroyizdat, 461.
11. Duan, Z., Zhang, L., Wen, L., Guo, C., Bai, Z., Ou, Z., Huang, F. (2018). Experimental research on impact loading characteristics by full-scale airplane impacting on concrete target. *Nuclear Engineering and Design*, 328, 292–300. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2018.01.021>
12. Králík, J. (2014). Safety of Nuclear Power Plants against the Aircraft Attack. *Applied Mechanics and Materials*, 617, 76–80. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.617.76>
13. Eibl, J. (2003). *Airplane Impact on Nuclear Power plants*. Proceedings of the 17th international conference on structural mechanics in reactor technology. Prague. Available at: https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:36071655
14. Kirillov, A. P., Sargsyan, A. E. (1982). *Raschet zaschitnoy obolochki na vozdeystvie padayushchego samoleta*. Materialy konferentsiy i soveschaniy po gidrotekhnike: Predel'nye sostoyaniya betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsiy energeticheskikh sooruzheniy. Leningrad: Energoizdat, 151–159.
15. Makarenko, L. P. (1986). *Rekomendatsii po raschetu zhelezobetonnykh zaschitnykh obolochek AES v aviarnoy situatsii*. Rovno, 22.
16. Blikharskyi, Z., Khmil, R., Vegera, P. (2017). Shear strength of reinforced concrete beams strengthened by P.B.O. fiber mesh under loading. *MATEC Web of Conferences*, 116, 02006. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711602006>
17. Blikharskyi, Z., Vegera, P., Vashkevych, R., Shnal, T. (2018). Fracture toughness of RC beams on the shear, strengthening by FRCM system. *MATEC Web of Conferences*, 183, 02009. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818302009>
18. Karkhut, I. I. (2021). *Design and Construction in Areas with High Seismic Activity*. Lviv, 188. Available at: <https://vlp.com.ua/node/20395>
19. Bychenkov, Yu. D., Bespaev, A. A. (1971). *Prochnost' i treschinos-toykost' uzlov ram zhelezobetonnogo karkasa seysmoustoykikh mno-goetazhnykh zdaniy*. Beton i zhelezobeton, 2.

20. Babaev, V. N., Bambura, A. N., Pustovoitova, O. M., Rezyk, P. A., Stoianov, Ye. H., Shmukler, V. S. (2015) *Praktychniy rozrakhunok elementiv zalizobetonnykh konstruksiy za DBN V.2.6-98:20009 u porivnianni z rozrakhunkamy za SNyP 2.03.01-84* i EN 1992-1-1 (Eurocode 2)*. Kharkiv: Zoloty strannitsy. Available at: <http://eprints.kname.edu.ua/42750/>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263480

INVESTIGATION OF FLUID DYNAMICS IN MICROFRACTURE CHANNELS (p. 42–50)

Maleyka Mammadova

Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5366-3623>

The object of the work is an experimental study of the features of the movement of viscous and anomalous fluids in plane-parallel and plane-radial microcracks.

In the work, the unexplored problem of hydrodynamic features of fluid motion in the considered objects – channels is solved.

It was experimentally revealed that various fluids, when moving in microcracked channels with micron-sized openings, acquire new mechanical properties, which differ from their properties in the usual condition. The effect in the “microcrack-fluid” system is the reason for changes in the mechanical properties of fluids in microcracks and equivalent ultra-low-permeable porous media. It was revealed that when a one-parameter viscous fluid moves in a crack with an opening $h < h_{cr}$, it becomes two-parameter, i.e. behaves like an anomalous fluid, and when moving with an opening $h \geq h_{cr}$, it restores one-parameter properties, and the anomalous fluid behaves like an anomalous fluid but increases the rheological constants of the model.

The results of the research require taking into consideration the crack effect in estimating the parameters of the technological processes system and technical devices “microcrack-fluid”. Machines and mechanisms must additionally have nodes that would prevent this effect. This is of scientific and practical importance for various fields of the industry, machine manufacturing, instrument manufacturing, chemical technology and medicine.

Keywords: non-Newtonian fluids, structural viscosity, plane-radial cracks, shear stress, plane parallel crack, shear rate.

References

- Lomize, G. M. (1951). *Fil'tratsiya v treschinovatykh porodakh*. Moscow: Goseneroizdat, 127.
- Tarasevich, V. V., Podryabinkin, E. V., Rudyak, V. Ya. (2012). *Modelirovanie techeniy nen'yutonovskoy zhidkosti v mezhtrubnom prostranstve pri postupatel'nom dvizhenii vnutrenney truby*. Doklady IV vsrossiyskoy konferentsii «Fundamental'nye osnovy MEMS- i nanotekhnologii». Novosibirsk, 323–328.
- Sokolov, V. I., Rasskazova, Yu. B. (2016). Modeling of fluid flow in microgaps with the boundary change of viscosity. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*, 2 (226), 20–25. Available at: <https://core.ac.uk/download/84593448.pdf>
- Grachev, S. I., Korotenko, V. A., Kushakova, N. P., Kryakvin, A. B., Zotova, O. P. (2019). Liquid filtration in anomalous collectors. *Izvestiya Tomskogo Politekhnicheskogo Universiteta Inzhiring Georesursov*, 330 (7), 104–113. doi: <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/7/2183>
- Podryabinkin, E. V., Rudyak, V. Y. (2011). Moment and forces exerted on the inner cylinder in eccentric annular flow. *Journal of Engineering Thermophysics*, 20 (3), 320–328. doi: <https://doi.org/10.1134/s1810232811030106>
- Bondareva, M. V., Korzhov, E. N. (2012). Investigation of fluid flow in the gap between eccentric cylindrical and conical surfaces. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademiya S.P. Koroleva (natsional'nogo issledovatel'skogo universiteta)*, 3 (34), 127–134. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-techeniy-zhidkosti-v-schelevom-zazore-mezhdu-ekstsentricheskimi-tsilindricheskoy-i-konicheskoy-poverhnostyami>
- Zakirov, S. N., Barenbaum, A. A., Zakirov, E. S., Indrupskiy, I. M., Serebryakov, V. A., Klimov, D. S. (2016). Revisiting the Development of Oil Deposits with Low Permeability Reservoirs. *Indian Journal of Science and Technology*, 9 (42). doi: <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i42/104219>
- Liu, W., Yao, J., Chen, Z., Liu, Y. (2015). Effect of quadratic pressure gradient term on a one-dimensional moving boundary problem based on modified Darcy's law. *Acta Mechanica Sinica*, 32 (1), 38–53. doi: <https://doi.org/10.1007/s10409-015-0526-2>
- Svalov, A. M. (2011). Kapillyarnye efekty v treschinovatykh porodakh. *Neftyanoe khozyaystvo*, 1, 59–63.
- Gabibov, I. A., Seidahmedov, N. S. (2015). Motion equations of plates of direct-flow valves for reciprocating compressors, working in the gas-lift oil well operation system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (7 (76)), 34–38. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.48234>
- Seidahmadov, N. (2019). Evaluation of gas separator effect on operability of gas-motor piston compressor valves. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (101)), 17–21. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.179373>
- Gurbanov, R. S., Mamedova, M. A., Gurbanova, T. G. (2015). Development of the sealing method of the pump clearance by well production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (77)), 59–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51958>
- Gurbanov, R. S., Mamedova, M. A. (2013). *Metodicheskoe rukovodstvo po razrabotke mestorozhdeniy treschinovatykh porod s n'yutonovskimi i nen'yutonovskimi neftiyami*. Baku: Izdatel'stvo AGNA, 62.
- Mamedova, M. A., Gurbanov, R. S. (2015). Investigation of the Rheology of Fluids in Fracture and Pore Channels and Determination of Their Opening. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 88 (4), 815–824. doi: <https://doi.org/10.1007/s10891-015-1256-9>
- Gurbanov, R. S., Mammadova, M. A. (2015). Rheological peculiarities of fluids flow in microcracked channels. *Mechanics*, 21 (1). doi: <https://doi.org/10.5755/j01.mech.21.1.10128>
- Mirzadzhanzade, A. Kh. (1959). *Voprosy gidrodinamiki vyazkoplastichnykh i vyazkikh zhidkostey v primenenii k nefte dobyche*. Baku: Aznefteizdat, 409. Available at: <https://search.rsl.ru/record/01006350927>
- Shul'man, Z. P. (1975). *Konvektivniy teplomassoperenos reologicheskoy slozhnykh zhidkostey*. Moscow: Energiya, 352.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263587

IDENTIFYING THE EFFECT OF CHANNEL WALL RIPPLE HEIGHT ON MULTIPHASE FLOW (p. 51–60)

Mohammed Ali Mahmood Hussein

Al-Rafidain University College, Baghdad, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7496-6364>

Wajeeh Kamal Hasan

Al-Rafidain University College, Baghdad, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1066-1780>

With the development of simulation technology and the ability to obtain accurate numerical results, as well as with the development of information technology, software that can solve numerical problems has become necessary to see physical changes that cannot be seen by the human eye. Multiphase stream field is settled utilizing the volume of fluid (VOF) method, and the flow equations are assessed and addressed mathematically by the notable limited vol-

ume approach. As a multiphase framework without mass exchange, air/water stream is considered. For practically all cases considered in this review, the heat transfer coefficient is higher. In any case, a critical punishment pressure drop was observed especially for high mass courses through undulating channels. A wavy channel with a variable wave height was simulated to see the variables of the flow process for multi-phase materials with a square cross-section, where different speeds were used for the inlet duct for air, water and steam. The results proved that the increase in the height of the channel wall wave works to obstruct the flow and thus increases the time required for the fluid to reach the exit area. The value of time required for steam and air to reach the exit area at the channel wall wave height of 25 mm and the flow velocity of 0.1 m/s was 6.01 s, which is the longest time it took for the fluid to reach the exit area compared to other cases. The pressure value reflects the amount of turbulence in the flow process, and it's crucial for thermal improvements based on flow turbulence. The entrance flow velocity is 0.1 m/s and the wall wave height is 25 mm at a time of 2 s, when the pressure reaches 873.7 Pa.

Keywords: numerical simulation, multiphase flow, rippled channel, CFD, sinusoidal duct.

References

- Shi, X., Tan, C., Dong, F., Murai, Y. (2019). Oil-gas-water three-phase flow characterization and velocity measurement based on time-frequency decomposition. *International Journal of Multiphase Flow*, 111, 219–231. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2018.11.006>
- Wang, D., Jin, N., Zhai, L., Ren, Y. (2020). Characterizing flow instability in oil-gas-water three-phase flow using multi-channel conductance sensor signals. *Chemical Engineering Journal*, 386, 121237. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.03.113>
- Ahmadpour, A., Noori Rahim Abadi, S. M. A. (2019). Thermal-hydraulic performance evaluation of gas-liquid multiphase flows in a vertical sinusoidal wavy channel in the presence/absence of phase change. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 138, 677–689. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.04.084>
- Rodrigues, H., Pereyra, E., Sarica, C. (2018). Pressure Effects on Low-Liquid Loading Oil-Gas Flow in Slightly Upward Inclined Pipes: Flow Pattern, Pressure Gradient and Liquid Holdup. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. doi: <https://doi.org/10.2118/191543-ms>
- Mohammed, A. O., Al-Kayiem, H. H., A.B., O., Sabir, O. (2020). One-way coupled fluid–structure interaction of gas–liquid slug flow in a horizontal pipe: Experiments and simulations. *Journal of Fluids and Structures*, 97, 103083. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2020.103083>
- Mustafa, M. A., Abdullah, A. R., Hasan, W. K., Habeeb, L. J., Nas-sar, M. F. (2021). Two-way fluid-structure interaction study of twisted tape insert in a circular tube having integral fins with nanofluid. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (8 (111)), 25–34. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.234125>
- Alpeissov, Y., Iskakov, R., Issenov, S., Ukenova, A. (2022). Obtaining a formula describing the interaction of fine particles with an expanding gas flow in a fluid layer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (116)), 87–97. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255258>
- Zhang, D., Jiang, E., Zhou, J., Shen, C., He, Z., Xiao, C. (2020). Investigation on enhanced mechanism of heat transfer assisted by ultrasonic vibration. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 115, 104523. doi: <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2020.104523>
- Zhang, D., Zhang, H., Rui, J., Pan, Y., Liu, X., Shang, Z. (2020). Prediction model for the transition between oil–water two-phase separation and dispersed flows in horizontal and inclined pipes. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 192, 107161. doi: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107161>
- Guo, W., Wang, L., Liu, C. (2020). Thermal diffusion response to gas-liquid slug flow and its application in measurement. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 159, 120065. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120065>
- Pan, Y., Ji, S., Tan, D., Cao, H. (2020). Cavitation-based soft abrasive flow processing method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 109 (9-12), 2587–2602. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05836-3>
- Suleimenov, U., Zhanabay, N., Utebayeva, A., Azmi Mu-rad, M. A., Dosmakanbetova, A., Abshenov, K. et. al. (2022). Estimation of the strength of vertical cylindrical liquid storage tanks with dents in the wall. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (115)), 6–20. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252599>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.261954

A STUDY OF HYDRODYNAMIC VISCOUS FLUID FLOW PARAMETERS CHANGE REGULARITIES IN CASE OF A CONICAL DIFFUSER (p. 61–71)

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>

Garnik Vermishyan

National University of Architecture and Construction of Armenia,
Yerevan, Armenia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8524-5899>

Studies of patterns of changes in hydrodynamic parameters of the viscous incompressible fluid in a conical diffuser were conducted. The specificity of the viscous liquid flow in a conical diffuser is that the kinetic energy of the flow, depending on the opening angle, is converted into pressure energy. Depending on Reynolds numbers and diffuser opening angles, the velocity vector field is stationary. With an increase in the Reynolds number, the symmetry of the flow relative to the axis of the diffuser is broken. A general solution to the approximate Navier-Stokes equations is given, based on the diffuser opening angle and the Reynolds number. A method for integrating the boundary value problem has been developed, and the patterns of velocity changes across the diffuser length at a parabolic distribution of velocities in the inlet section are obtained. By integrating partial differential equations that match all boundary conditions, the solution to the boundary value problem can be found. Graphs of changes in radial and axial velocities along the length and with a fixed value of the opening angle are shown; the flow pattern and the transition of a single-mode flow to multimode regimes are obtained. For a fixed opening angle and Reynolds number, the conditions for flow separation from a fixed wall are derived, where the flow velocity changes the sign. A mixing process is observed in the multi-mode region, which is accompanied by numerous pulsation phenomena and an unstable diffuser operation, where the resulting solutions are inappropriate. Based on the results of the studies obtained, it is possible to correctly design a conical diffuser, namely, under the condition of non-separated flow, to choose the opening angle and its length.

Keywords: conical diffuser, velocity profile, pressure distribution, breaking point, viscous fluid, fluid flow.

References

- Jeffery, G. B. (1915). The two-dimensional steady motion of a viscous fluid. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 29 (172), 455–465. doi: <https://doi.org/10.1080/14786440408635327>
- Hamel, G. (1917). Spiralförmige Bewegungen zäher Flüssigkeiten. *Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung*, 25, 34–60. Available at: [https://gdz.sub.uni-goettingen.de/id/PPN37721857X_0025?tfify={%22pages%22:\[41\],%22panX%22:0.487,%22panY%22:0.784,%22view%22:%22info%22,%22zoom%22:0.348}](https://gdz.sub.uni-goettingen.de/id/PPN37721857X_0025?tfify={%22pages%22:[41],%22panX%22:0.487,%22panY%22:0.784,%22view%22:%22info%22,%22zoom%22:0.348})
- Targ, S. M. (1951). *Osnovnye zadachi teorii laminarnykh techeniy*. Moscow: Gostekhizdat, 420.
- Slezkin, N. A. (1955). *Dinamika vyazkoy neszhimaemoy zhidkosti*. Moscow: Gostekhizdat, 519.
- Tikhonov, A. N., Samarskiy, A. G. (1977). *Uravenniya matematicheskoy fiziki*. Moscow: Nauka, 735.
- Akulenko, L. D., Kumakshev, S. A. (2008). Bifurcation of multi-mode flows of a viscous fluid in a plane diverging channel. *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, 72 (3), 296–302. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jappmathmech.2008.07.007>
- 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>
- 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>
- Fedyushkin, A. I. (2016). The transition flows of a viscous incompressible fluid in a plane diffuser from symmetric to asymmetric and to non-stationary regimes. *Physical-Chemical Kinetics in Gas Dynamics*, 17 (3). Available at: http://chemphys.edu.ru/media/published/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F_%D0%A4%D0%B5%D0%B4%D1%8E%D1%88%D0%BA%D0%B8%D0%BD_%D0%90%D0%A4%D0%9C-10_2016_corr.pdf
- El-Behery, S. M., Hamed, M. H. (2011). A comparative study of turbulence models performance for separating flow in a planar asymmetric diffuser. *Computers & Fluids*, 44 (1), 248–257. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2011.01.009>
- Gerasimenko, V. P., Tkachuk, A. S., Ytsishin, A. A. (2012). About polars of straight-wall diffusers. Power and heat engineering processes and equipment, 8, 137–142. Available at: http://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2012_8.pdf
- Haines, P. E., Hewitt, R. E., Hazel, A. L. (2011). The Jeffery–Hamel similarity solution and its relation to flow in a diverging channel. *Journal of Fluid Mechanics*, 687, 404–430. doi: <https://doi.org/10.1017/jfm.2011.362>
- 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*, 1494–1501. doi: <https://doi.org/10.18421/tem94-23>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.262498

INFLUENCE OF THE FIXATION POINT OF THE ARTIFICIAL POPLITEAL MUSCLE GRAFT ON THE STABILITY OF THE KNEE JOINT UNDER EXTERNAL ROTATIONAL LOAD (p. 72–78)

Serhii Panchenko

Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5826-3645>

Maksym Golovakha

Zaporizhzhia State Medical University, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2835-9333>

Dmytro Kolosov

Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0585-5908>

Serhii Onyshchenko

Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5709-7021>

Tetiana Zub

Dnipro State Medical University, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8404-0437>

Taras Chechel

Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0169-0472>

This paper investigated the dependence of the stability of the knee joint, when exposed to external rotational load on the lower leg, on the position of the graft of the tendon of the popliteal muscle. Estimation finite-element models of the right knee joint of an adult were constructed, which included the articular ends of the bones that form this joint, as well as its main ligaments. The models reflected a surgery to restore posterolateral angle structures and differed only in the position of the popliteal tendon graft. That position was set by the point of attachment of the graft to the posterior surface of the tibia. At the same time, the fixation point changed both vertically and horizontally, in the frontal plane. In addition, a control model was built in which the hamstring tendon was completely absent. As a result of the calculations, patterns of the distribution of the fields of movement of the points of the finite-element model were obtained. As criteria for assessing the effectiveness of the selected position of the graft, movements of the lower leg model in the horizontal plane were proposed. Analysis of the results of the calculations showed that the greatest movements in all directions were obtained in the control model, in which the hamstring of the popliteal muscle was absent. The magnitudes of the considered movements derived from the control model exceeded the same values in the model with minimal movements by 17, 37, 17, 32, and 16 %. From the point of view of the stability of the tibia under rotational load, the most effective was the fixation of the graft on the posterior surface of the tibia as laterally as possible and closer to its articular surface. This is indicated by the magnitude of the movements, which, in this case, turned out to be the smallest in all directions.

Keywords: knee joint, hamstring tendon, external rotational load, graft, finite-element model, stiffness characteristics.

References

- Chahla, J., Moatshe, G., Dean, C. S., LaPrade, R. F. (2016). Posterolateral Corner of the Knee: Current Concepts. *The archives of bone and joint surgery*, 4 (2), 97–103. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4852053/pdf/ABJS-4-97.pdf>
- Weiss, S., Krause, M., Frosch, K.-H. (2020). Posterolateral corner of the knee: a systematic literature review of current concepts of arthroscopic reconstruction. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 140 (12), 2003–2012. doi: <https://doi.org/10.1007/s00402-020-03607-z>
- Golovakha, M., Didenko, I., Krasnoperov, S., Orlyanski, W. (2019). The results of treatment of combined injuries of the posterior cruciate ligament and structures of the posterior lateral corner of the knee joint. *Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*, 4, 92–101. doi: <https://doi.org/10.15674/0030-59872018492-101>
- Lee, D.-Y., Park, Y.-J., Kim, D.-H., Kim, H.-J., Nam, D.-C., Park, J.-S., Hwang, S.-C. (2017). The role of isolated posterior cruciate ligament reconstruction in knees with combined posterior cruciate ligament

- and posterolateral complex injury. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 26 (9), 2669–2678. doi: <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4672-x>
5. LaPrade, R. F., Ly, T. V., Wentorf, F. A., Engebretsen, L. (2003). The Posterolateral Attachments of the Knee. *The American Journal of Sports Medicine*, 31 (6), 854–860. doi: <https://doi.org/10.1177/03635465030310062101>
 6. Crespo, B., James, E. W., Metsavaht, L., LaPrade, R. F. (2015). Injuries to posterolateral corner of the knee: a comprehensive review from anatomy to surgical treatment. *Revista Brasileira de Ortopedia (English Edition)*, 50 (4), 363–370. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rboe.2014.12.008>
 7. Treme, G. P., Salas, C., Ortiz, G., Gill, G. K., Johnson, P. J., Menzer, H. et. al. (2019). A Biomechanical Comparison of the Arciero and LaPrade Reconstruction for Posterolateral Corner Knee Injuries. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 7 (4), 232596711983825. doi: <https://doi.org/10.1177/2325967119838251>
 8. Krasnoperov, S., Golovakha, M., Panchenko, S. (2019). Influence of tibial slope on the forces in anterior cruciate ligament. *Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*, 4, 71–76. doi: <https://doi.org/10.15674/0030-59872018471-76>
 9. Tyuryupov, M. S., Gaivoronsky, I. V., Kudyashev, A. L., Bazarov, I. S. (2021). Improvement of surgical treatment of patients with posttraumatic posterior-lateral instability of the knee joint. *Russian Military Medical Academy Reports*, 40 (1), 71–78. doi: <https://doi.org/10.17816/rmmar64488>
 10. Triantafyllidi, E., Paschos, N. K., Goussia, A., Barkoula, N.-M., Exarchos, D. A., Matikas, T. E. et. al. (2013). The Shape and the Thickness of the Anterior Cruciate Ligament Along Its Length in Relation to the Posterior Cruciate Ligament: A Cadaveric Study. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 29 (12), 1963–1973. doi: <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2013.09.007>
 11. Cho, H.-J., Kwak, D.-S. (2020). Mechanical Properties and Characteristics of the Anterolateral and Collateral Ligaments of the Knee. *Applied Sciences*, 10 (18), 6266. doi: <https://doi.org/10.3390/app10186266>
 12. Logterman, S. L., Wydra, F. B., Frank, R. M. (2018). Posterior Cruciate Ligament: Anatomy and Biomechanics. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 11 (3), 510–514. doi: <https://doi.org/10.1007/s12178-018-9492-1>
 13. Cone, S. G., Howe, D., Fisher, M. B. (2019). Size and Shape of the Human Anterior Cruciate Ligament and the Impact of Sex and Skeletal Growth. *JBJS Reviews*, 7 (6), e8–e8. doi: <https://doi.org/10.2106/jbjs.rvw.18.00145>
 14. LaPrade, R. F., Bollom, T. S., Wentorf, F. A., Wills, N. J., Meister, K. (2005). Mechanical Properties of the Posterolateral Structures of the Knee. *The American Journal of Sports Medicine*, 33 (9), 1386–1391. doi: <https://doi.org/10.1177/0363546504274143>
 15. Panchenko, S. P., Golovakha, M. L., Shtoffel', M. (2009). Obosnovanie sposoba fiksatsii fragmentov bol'shebertsovoy kosti pri otkryvayuscheysha korriruyuschey osteotomii. *Zbirnyk naukovykh prats: haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo*, 1 (3 (25)), 159–164.
 16. Orozco, G. A., Tanska, P., Mononen, M. E., Halonen, K. S., Korhonen, R. K. (2018). The effect of constitutive representations and structural constituents of ligaments on knee joint mechanics. *Scientific Reports*, 8 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20739-w>
 17. Kapandji, A. I. (2019). *The Physiology of the Joints – Volume 2: The Lower Limb*. Handspring Publishing Limited, 324.
 18. Feodos'ev, V. I. (1986). *Soprotivlenie materialov*. Moscow: Nauka, 560.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.261039
DEVELOPING APPLICATION TECHNIQUES OF KINEMATICS AND SIMULATION MODEL FOR INMOOV ROBOT (p. 79–88)

Chingis Kenshimov

Institute of Information and Computational Technologies,
 Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5923-4958>

Talgat Sundetov

Institute of Information and Computational Technologies,
 Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1193-5517>

Murat Kunelbayev

Institute of Information and Computational Technologies,
 Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5648-4476>

Magzhan Sarzhan

Institute of Information and Computational Technologies,
 Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3674-088X>

Madina Kutubayeva

L. N. Gumilyov Eurasian National University,
 Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1551-8684>

Arman Amandykuly

Institute of Information and Computational Technologies,
 Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6240-5295>

In this work, the direct and inverse kinematic analysis of both robot arms are investigated based on the analytical and informational representation. The results of the study will be used to provide the functionality of gesturing by a robot in sign language, both Kazakh and other languages, used in educational systems, especially in children's institutions and societies for deaf people. A simulation model of the movement of the robot's arms in the workspace has been studied and built. The developed model will be further implemented and used as mathematical and informational support for the created robot. The developed library contains implementations of forward kinematics and iterative algorithms for inverse kinematics.

The InMoov robot is a platform widely used in research tasks, supported by the MyRobotLab package. A direct kinematic model for the left and right hands of the robot has been studied. Based on the Python programming language, the working space for robot manipulators was calculated, using the matplotlib library, an iteration method algorithm was developed to find the probable path of robot manipulators in space. A model of a structured artificial neural network (ANN) is proposed, which is used to find a solution to the inverse kinematics of the InMoov robot with six degrees of freedom (4-dof). The applied ANN model is a multi-layer perceptron neural network (MLPNN) in which the learning rule of the Adam-a gradient diskend type is applied. To solve this problem, the problem of finding the best ANN configuration was studied. It has been established that a multilayer perceptron neural network gives the minimum mean square error. The regression coefficient analysis, which shows a 95.6 % fit of all communication variables, is acceptable for obtaining the inverse kinematics of the InMoov robot.

Keywords: InMoov robot, manipulator kinematics, iterative algorithm, python mean square error.

References

- Denavit, J., Hartenberg, R. S. (1955). A Kinematic Notation for Lower-Pair Mechanisms Based on Matrices. *Journal of Applied Mechanics*, 22 (2), 215–221. doi: <https://doi.org/10.1115/1.4011045>
- Yang, C., Ma, H., Fu, M. (2016). Robot Kinematics and Dynamics Modeling. *Advanced Technologies in Modern Robotic Applications*, 27–48. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-10-0830-6_2
- Smith, A., Yang, C., Li, C., Ma, H., Zhao, L. (2016). Development of a dynamics model for the Baxter robot. 2016 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. doi: <https://doi.org/10.1109/icma.2016.7558740>
- Gouaillier, D., Hugel, V., Blazevic, P., Kilner, C., Monceaux, J., La-fourcade, P. et. al. (2009). Mechatronic design of NAO humanoid. 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation. doi: <https://doi.org/10.1109/robot.2009.5152516>
- Williams, R. L. (2012). DARwIn-OP Humanoid Robot Kinematics. Volume 4: 36th Mechanisms and Robotics Conference, Parts A and B. doi: <https://doi.org/10.1115/detc2012-70265>
- Todd, D. J. (1985). *Walking Machines: An Introduction to Legged Robots*. Springer, 190. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4684-6858-8>
- Kofinas, N., Orfanoudakis, E., Lagoudakis, M. G. (2013). Complete analytical inverse kinematics for NAO. 2013 13th International Conference on Autonomous Robot Systems. doi: <https://doi.org/10.1109/robotica.2013.6623524>
- Spong, W., Hutchinson, S., Vidyasagar, M. (2006). *Robot Modeling and Control*. John Wiley & Sons.
- Aydin, Y., Kucuk, S. (2006). Quaternion Based Inverse Kinematics for Industrial Robot Manipulators with Euler Wrist. 2006 IEEE International Conference on Mechatronics. doi: <https://doi.org/10.1109/icmech.2006.252591>
- Ho, T., Kang, C.-G., Lee, S. (2012). Efficient closed-form solution of inverse kinematics for a specific six-DOF arm. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 10 (3), 567–573. doi: <https://doi.org/10.1007/s12555-012-0313-9>
- Sciliano, B., Sciavicco, L., Villani, L., Oriolo, G. (2009). *Robotics. Modelling, Planning and Control*. Springer, 632. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-642-1>
- Pieper, D. (1968). The kinematics of manipulators under computer control. Stanford University. Available at: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD0680036.pdf>
- Graf, C., Hartl, A., Rofer, T., Laue, T. (2009). A Robust Closed-Loop Gait for the Standard Platform League Humanoid. *Proceedings of the 4th Workshop on Humanoid Soccer Robots (Humanoids '09)*. Paris. Available at: <http://www.informatik.uni-bremen.de/kogrob/papers/Humanoids-Graf-et-al-09.pdf>
- Hernández-Santos, C., Rodríguez-Leal, E., Soto, R., Gordillo, J. L. (2012). Kinematics and Dynamics of a New 16 DOF Humanoid Biped Robot with Active Toe Joint. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 9 (5), 190. doi: <https://doi.org/10.5772/52452>
- Kofinas, N., Orfanoudakis, E., Lagoudakis, M. G. (2014). Complete Analytical Forward and Inverse Kinematics for the NAO Humanoid Robot. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 77 (2), 251–264. doi: <https://doi.org/10.1007/s10846-013-0015-4>
- Kalimoldayev, M., Akhmetzhanov, M., Kunelbayev, M., Sundetov, T. (2019). Information systems of integrated machine learning modules on the example of a verbal robot. *NEWS of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, 6 (438), 215–222. doi: <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170x.173>
- Kenshimov, C., Sundetov, T., Kunelbayev, M., Amirgaliyeva, Z., Yedilkhan, D., Auelbekov, O. (2021). Development of a Verbal Robot Hand Gesture Recognition System. *Wseas Transactions on Systems and Control*, 16, 573–583. doi: <https://doi.org/10.37394/23203.2021.16.53>
- Kazerounian, K. (1987). On the Numerical Inverse Kinematics of Robotic Manipulators. *Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design*, 109 (1), 8–13. doi: <https://doi.org/10.1115/1.3258791>
- Beeson, P., Ames, B. (2015). TRAC-IK: An open-source library for improved solving of generic inverse kinematics. 2015 IEEE-RAS 15th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids). doi: <https://doi.org/10.1109/humanoids.2015.7363472>
- Aristidou, A., Lasenby, J. (2011). FABRIK: A fast, iterative solver for the Inverse Kinematics problem. *Graphical Models*, 73 (5), 243–260. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gmod.2011.05.003>
- Hasan, A. T., Hamouda, A. M. S., Ismail, N., Al-Assadi, H. M. A. A. (2006). An adaptive-learning algorithm to solve the inverse kinematics problem of a 6 D.O.F serial robot manipulator. *Advances in Engineering Software*, 37 (7), 432–438. doi: <https://doi.org/10.1016/j.advensoft.2005.09.010>
- Husty, M. L., Pfurner, M., Schröcker, H.-P. (2007). A new and efficient algorithm for the inverse kinematics of a general serial 6R manipulator. *Mechanism and Machine Theory*, 42 (1), 66–81. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2006.02.001>
- Hasan, A. T., Ismail, N., Hamouda, A. M. S., Aris, I., Marhaban, M. H., Al-Assadi, H. M. A. A. (2010). Artificial neural network-based kinematics Jacobian solution for serial manipulator passing through singular configurations. *Advances in Engineering Software*, 41 (2), 359–367. doi: <https://doi.org/10.1016/j.advensoft.2009.06.006>
- Olaru, A., Olaru, S., Paune, D., Aurel, O. (2012). Assisted Research and Optimization of the Proper Neural Network Solving the Inverse Kinematics Problem. *Advanced Materials Research*, 463–464, 827–832. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.463-464.827>
- Mohammed Jasim, W. (2011). Solution of Inverse Kinematics for SCARA Manipulator Using Adaptive Neuro-Fuzzy Network. *International Journal on Soft Computing*, 2 (4), 59–66. doi: <https://doi.org/10.5121/ijsc.2011.2406>
- Mayorga, R. V., Sanongboon, P. (2005). Inverse kinematics and geometrically bounded singularities prevention of redundant manipulators: An Artificial Neural Network approach. *Robotics and Autonomous Systems*, 53 (3-4), 164–176. doi: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2005.09.011>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.262558

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РУЙНУВАННЯ ПРИ ВИГІНІ І ЗСУВІ ПЕРФОРОВАНИХ СТАЛЕВИХ БАЛОК ЗМІННОГО ПЕРЕРІЗУ З ВИКОРИСТАННЯМ РОЗШИРЮВАЛЬНИХ ПЛАСТИН (с. 6–13)

Muslim Abdul-Ameer Al-Kannoon, Hayder Wafi AL-Thabhawe

З використанням сучасних технологій виготовлення сталі, двотаврові балки можна легко виготовляти зварюванням, а гарячекатані балки часто можна виробляти за економічною ціною з тонкими стінками та рівними полицями. Проведено експериментальні та теоретичні дослідження поведінки перфорованих сталевих балок змінного перерізу. Завдяки низькій вартості, вони є можливою альтернативою призматичним компонентам. В даному дослідженні експериментально і теоретично оцінювався вплив перфорування змінного перерізу на згинальну здатність та згинальну жорсткість перфорованих сталевих балок змінного перерізу (ПБЗП) з вільно опертими кінцями. Проведено чотири випробування на триточковий вигин на ПБЗП зі значеннями H/h 1, 1,2, 1,4 і 1,6 з використанням стандартної вихідної двотаврової балки (IPE140) в якості контрольного зразка. Результати випробувань включають в себе криві залежності граничного навантаження від прогину в середині прольоту і механізми руйнування. Результати показали, що несуча здатність ПБЗП може становити до 140 відсотків від несучої здатності основної балки. Для проведення аналізу ПБЗП методом скінчених елементів (МСЕ) з урахуванням матеріальної та геометричної нелінійності використовувалася програма Abaqus. Отримані скінчено-елементні моделі відмінно узгоджуються з експериментальними результатами по несучій здатності в залежності від прогину в середині прольоту і механізмів руйнування. За результатами роботи ПБЗП можуть бути використані для підвищення міцності і жорсткості основної двотаврової балки з додаванням розширювальних пластин. Несуча здатність ПБЗП може бути збільшена шляхом додавання розширювальних пластин до 40 % вище, ніж у основної балки. ПБЗП має більш низьку пластичність, ніж вихідна балка. Крім того, ПБЗП відповідає вимогам до умов експлуатації, оскільки довжина середини її прольоту перевищує довжину середини прольоту основної балки.

Ключові слова: перфорована балка, місцевий поздовжній вигин, сталева балка, змінного перерізу, викривлення стінки, механізм Віренделя.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.261585

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ СКЛАДОВИХ В ДОВГОБАЗНОМУ ВАГОНІ-ПЛАТФОРМІ (с. 14–22)

О. В. Фомін, А. О. Ловська, А. М. Фоміна, Г. О. Бойко

Проведено удосконалення несучої конструкції довгобазного вагона-платформи для перевезення контейнерів. Дане удосконалення полягає у створенні надбудов для розміщення фітингових упорів із композитного матеріалу. Конструкція надбудов забезпечує можливість зменшення динамічних навантажень між контейнерами та вагоном-платформою за рахунок пружно-фрикційних зв'язків.

Проведено визначення динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи. Для цього сформовано математичну модель, яка враховує його переміщення у вертикальній площині. Результати розв'язку математичної моделі встановили, що отримані величини прискорень, відповідно, на 5,3 % та 6,2 % нижче за ті, що діють на вагон-платформу та контейнер з урахуванням типової схеми їх взаємодії.

Для забезпечення міцності надбудови проведено розрахунок за методом скінчених елементів. Встановлено, що максимальні напруження виникають у похилих частинах надбудови і складають 113,6 МПа, що значно нижче за допустимі.

Також в рамках дослідження проведено визначення динамічної навантаженості удосконаленої конструкції вагона-платформи при русі у порожньому стані. Результати проведених розрахунків показали, що визначені показники динаміки знаходяться в межах допустимих, а хід руху вагона-платформи є "добрим".

Визначено коефіцієнт опору втомі несучої конструкції вагона-платформи з урахуванням нової схеми взаємодії з контейнерами. З урахуванням запропонованих рішень стає можливим збільшити коефіцієнт опору втомі несучої конструкції вагона-платформи на 8 % у порівнянні з типовою схемою.

Проведені дослідження сприятимуть зменшенню витрат на утримання засобів комбінованого транспорту, а також підвищенню ефективності їх функціонування.

Ключові слова: транспортна механіка, вагон-платформа, контейнер, несуча конструкція, композитний матеріал, опір втомі.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263460

РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ТЕОРІЇ ПРУЖНОСТІ ТА АНАЛІЗ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ВОЛОКНИСТОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО ШАРУ ПІД ДІЄЮ ПОПЕРЕЧНИХ СТИСКАЮЧИХ СИЛ (с. 23–30)

В. Ю. Мірошніков, О. Б. Савін, Basheer Younis, В. В. Нікічанов

Запропоновано аналітико-чисельне розв'язання просторової задачі теорії пружності для композиту у вигляді шару з двома поздовжніми нескінченими суцільними циліндричними включеннями. Однорідні, ізотропні матеріали шару і включень відріз-

няються один від одного модулем пружності і коефіцієнтом Пуассона. На верхній і нижній межах шару задані нормальні напруження. Об'єктом дослідження є напружений стан такого композита. Проблема полягає у відсутності високоточного методу розрахунку багатозв'язних тіл такого типу. Розв'язання задачі засновано на узагальненому методі Фур'є щодо рівнянь Ламе в різних системах координат. Задача зведена до нескінченної системи лінійних алгебраїчних рівнянь, що розв'язується методом редукції. У чисельному дослідженні отримано напружений стан всередині тіл композиту, на межах їх спряжень та на перехідку між включеннями. Встановлено, що на межі спряження виникають екстремальні напруження $\sigma_p = -0.9306$ МПа, $\sigma_\phi = -0.5595$ МПа, $\tau_{p\phi} = -0.315$ МПа. Аналіз напруженого стану вказує на необхідність врахування нормальних напружень на поверхні спряження. Це обумовлено наявністю зв'язуючого, яке може відрізнятися фізичними характеристиками від основних складових композиту. Результати мають логічну фізичну коректність та, в спрощених варіантах, повністю узгоджуються з результатами подібних задач із інших апробованих джерел. В роботі одночасно застосовано формули переходу в базисних розв'язках між різними системами координат, умови спряження різних тіл та строге виконання умов рівноваги для заданих граничних функцій. Це дало можливість отримати високоточне розв'язання нової задачі теорії пружності для шару з циліндричними включеннями та заданими тільки напруженнями на граничних поверхнях. Запропонований метод розрахунку може бути застосований при проектуванні конструкцій з волокнистих композитів в авіабудуванні та будівництві.

Ключові слова: шар з циліндричними включеннями, волокнистий композит, теореми додавання, метод редукції.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.262337

ПІДВИЩЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ПОХИЛИХ ПЕРЕРІЗІВ З/Б ЗАХИСНИХ ОБОЛОНОК НА ДІЛЯНКАХ АВАРІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРОДАВЛЮВАННЯ (с. 31–41)

I. I. Karhut

Об'єктом досліджень була тріщиностійкість похилих перерізів бетонних та залізобетонних фрагментів захисних конструкцій при дії аварійних динамічних навантажень. Описано характеристики небезпечних аварійних динамічних навантажень на захисні споруди (сейсмічне, атака літака), досвід підвищення тріщиностійкості похилих перерізів різними матеріалами та конструктивними заходами при статичних впливах. Ділянки впливу динамічних навантажень на залізобетонні конструкції, армовані горизонтальними сітками біля верхньої та нижньої граней, потребують підвищення тріщиностійкості та усунення небезпеки розколювання в площині сіток. Порівняння результатів експериментальних досліджень похилих перерізів захисних конструкцій на ділянці впливу місцевого аварійного навантаження показало доцільність таких конструктивних заходів. Додаткове горизонтальне армування біля грані продавлювання підвищує тріщиностійкість на 55–65 %. При використанні розроблених теоретичних залежностей похибка при визначенні зусиль тріщиноутворення та міцності при продавлюванні не перевищує 20,7 %.

Підвищена тріщиностійкість забезпечена за рахунок обмеження максимальних діаметрів стержнів горизонтальних сіток та їх кроку. Особливо важливим є розміщення додаткової арматури в середній зоні, врахування фактичної міцності бетону на розтяг в розрахункових залежностях. Повне усунення небезпеки розколювання на ділянках імовірної дії аварійного динамічного навантаження в захисних конструкціях в площинах сіток рекомендовано за рахунок застосування бетону класу не нижче С16/20, використання арматури $\varnothing 12$ –14 мм. Оптимальний крок стержнів 50–125 мм. Це дозволяє підвищити надійність проектування та роботи захисних конструкцій при аварійних впливах, зменшити затрати на їх ремонт після таких впливів.

Ключові слова: захисна конструкція, аварія літака, кут продавлювання, горизонтальне армування, тріщиностійкість перерізів, нагельний ефект.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263480

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ РУХУ РІДИН У МІКРОТРЕЩИННИХ КАНАЛАХ (с. 42–50)

Maleyka Mammadova

Об'єктом роботи є експериментальне дослідження особливостей руху в'язких та аномальних рідин у плоскорадіальних і плоскорадіальних мікротріщинах.

У роботі вирішується задача вивчення гідродинамічних особливостей руху рідини в розглянутих об'єктах – каналах.

Експериментально встановлено, що різні рідини під час руху в мікротріщинних каналах з розкритістю мікронного розміру набувають нових механічних властивостей, що відрізняються від їхніх властивостей у звичайному стані. Причиною зміни механічних властивостей рідин в мікротріщинах та еквівалентних наднизькопроникних пористих середовищах є ефект системи "мікротріщина-рідина". Виявлено, що під час руху в'язкої однопараметричної рідини в тріщині з розкритістю $h < h_{cr}$ вона стає двопараметричною, тобто поводить як аномальна, а під час руху з розкритістю $h \geq h_{cr}$ відновлює однопараметричні властивості, для аномальних рідин реологічні параметри посилюються.

Результати дослідження вимагають врахування тріщинного ефекту при оцінці параметрів системи технологічних процесів і технічних пристроїв "мікротріщина-рідина". Машини та механізми повинні додатково мати вузли, що запобігають даному ефекту, що має науково-практичне значення для різних галузей промисловості, машинобудування, приладобудування, хімічної технології та медицини.

Ключові слова: ньютонівські рідини, структурна в'язкість, плоскорадіальні тріщини, напруга зсуву, плоскорадіальна тріщина, швидкість зсуву.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263587

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВИСОТИ ХВИЛІ СТІНОК КАНАЛУ НА БАГАТОФАЗНУ ТЕЧІЮ (с. 51–60)

Mohammed Ali Mahmood Hussein, Wajeeh Kamal Hasan

З розвитком технологій моделювання та можливістю отримання точних чисельних результатів, а також з поширенням інформаційних технологій, виникла необхідність у програмному забезпеченні, здатному вирішувати чисельні завдання для спостереження фізичних змін, які не видно людському оку. Поле багатофазного потоку визначається з використанням методу об'єму рідини (VOF), а рівняння потоку оцінюються і математично вирішуються за допомогою відомого методу обмеженого об'єму. В якості багатофазної структури без масообміну розглядається повітряно-водяний потік. Практично у всіх розглянутих випадках коефіцієнт теплопередачі вище. У будь-якому випадку, особливо при проходженні великих мас хвилеподібними каналами, спостерігався критичний перепад тиску. Був змодельований хвилеподібний канал зі змінною висотою хвилі для спостереження за змінними процесу течії багатофазних матеріалів з квадратним поперечним перерізом з використанням різних швидкостей для впускного каналу повітря, води і пари. Результати показали, що збільшення висоти хвилі стінок каналу перешкоджає потоку і, таким чином, збільшує час, необхідний для досягнення рідиною області виходу. Значення часу, необхідного для досягнення парою і повітрям області виходу при висоті хвилі стінок каналу 25 мм та швидкості потоку 0,1 м/с, складало 6,01 с, що є максимальним часом, необхідним рідині для досягнення області виходу в порівнянні з іншими випадками. Значення тиску відображає ступінь турбулентності у процесі потоку та має вирішальне значення для поліпшення теплопродуктивності на основі турбулентності потоку. Швидкість потоку на вході становить 0,1 м/с, висота хвилі стінок складає 25 мм за 2 с, коли тиск досягає 873,7 Па.

Ключові слова: чисельне моделювання, багатофазний потік, хвилеподібний канал, обчислювальна гідродинаміка, синусоїдальний канал.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.261954

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕЧІЇ В'ЯЗКОЇ РІДИНИ В КОНІЧНОМУ ДИФУЗОРІ (с. 61–71)

Arestak Sarukhanyan, Yeghiazar Vardanyan, Garnik Vermishyan

Проведені дослідження закономірностей зміни гідродинамічних параметрів в'язкої нестисливої рідини в кінчному дифузорі. Специфіка течії в'язкої рідини в кінчному дифузорі полягає в тому, що, в залежності від кута розкриття, кінетична енергія потоку перетворюється на енергію тиску. Залежно від чисел Рейнольдса та кутів розкриття дифузора, векторне поле швидкостей є стаціонарним. При збільшенні числа Рейнольдса симетрія потоку щодо осі дифузора порушується. На підставі кута розкриття дифузора та числа Рейнольдса дано загальне рішення наближених рівнянь Нав'є-Стокса. Розроблено метод інтегрування крайової задачі та отримано закономірності зміни швидкості по довжині дифузора при параболічному розподілі швидкостей у вхідному перерізі. Рішення крайової задачі може бути знайдено шляхом інтегрування диференціальних рівнянь в приватних похідних, що задовольняють всім граничним умовам. Показані графіки зміни радіальної та осевої швидкостей по довжині та при фіксованому значенні кута розкриття, отримана картина течії і перехід одномодової течії в багатомодові режими. Для фіксованого кута відкриття і числа Рейнольдса отримані умови відриву потоку від нерухомої стінки, при яких швидкість течії змінює знак. У багаторежимній області спостерігається процес змішування, що супроводжується численними пульсаційними явищами та нестабільною роботою дифузора, при яких отримані рішення недоречні. Результати досліджень дозволяють правильно сконструювати кінчний дифузор, а саме, за умови безвідривної течії, вибрати кут розкриття та його довжину.

Ключові слова: кінчний дифузор, профіль швидкостей, розподіл тиску, точка відриву, в'язка рідина, течія рідини.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.262498

ВПЛИВ ТОЧКИ ФІКСАЦІЇ ШТУЧНОГО ТРАНСПЛАНТАТУ ПІДКОЛІННОГО М'ЯЗА НА СТАБІЛЬНІСТЬ КОЛІННОГО СУГЛОБА ПРИ ЗОВНІШНЬОМУ РОТАЦІЙНОМУ НАВАНТАЖЕННІ (с. 72–78)

С. П. Панченко, М. Л. Головаха, Д. Л. Колосов, С. В. Онищенко, Т. О. Зуб, Т. О. Чечель

Досліджувалась залежність стабільності колінного суглоба, при впливі зовнішнього ротаційного навантаження на гомілку, від положення трансплантату сухожилля підколінного м'яза. Побудовано розрахункові скінчено-елементні моделі правого колінного суглоба дорослої людини, які включали суглобові кінці кісток, що формують цей суглоб, а також його основні зв'язки. Моделі відображали операцію відновлення структур задньолатерального кута, і відрізнялися тільки положенням трансплантату сухожилля підколінного м'яза. Це положення задавалося точкою прикріплення трансплантата до задньої поверхні великогомілкової кістки. При цьому точка фіксації змінювалася як по вертикалі, так і по горизонталі, у фронтальній площині. Крім того, побудовано контрольну модель, у якій сухожилля підколінного м'яза було повністю відсутнє. В результаті розрахунків отримано картини розподілу полів переміщень точок скінчено-елементної моделі. В якості критеріїв оцінки ефективності обраного положення трансплантата були запропоновані переміщення моделі гомілки в горизонтальній площині. Аналіз результатів розрахунків показав, що найбільші переміщення у всіх напрямках отримані у контрольній моделі, в якій не було сухожилля підколінного м'яза. Величини переміщень, що розглядаються, отримані у контрольній моделі перевищували аналогічні значення у моделі з мінімальними переміщеннями на 17, 37, 17, 32 і 16 %. З точки зору стабільності гомілки при

ротаційному навантаженні, найбільш ефективною виявилася фіксація трансплантата на задній поверхні великогомілкової кістки максимально латерально і ближче до її суглобової поверхні. На це вказують величини переміщень, які в даному випадку виявились найменшими у всіх напрямках.

Ключові слова: колінний суглоб, сухожилля підколінного м'яза, зовнішнє ротаційне навантаження, трансплантат, скінчено-елементна модель, жорсткісні характеристики.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.261039

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ЗАСТОСУВАННЯ КИНЕМАТИЧНОЇ ТА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ РОБОТА INMOOV (с. 79–88)

Chingis Kenshimov, Talgat Sundetov, Magzhan Sarzhan, Murat Kunelbayev, Madina Kutubayeva, Arman Amandykuly

У цій роботі досліджується прямий та інверсний кінематичний аналіз обох маніпуляторів на основі аналітичного та інформаційного уявлення. Результати дослідження будуть використані для забезпечення функціоналу жестикуляції роботом мовою жестів як казахською, так і іншими мовами, що використовуються в освітніх системах, особливо в дитячих установах і суспільствах глухих. Досліджено та побудовано імітаційну модель руху рук робота в робочому просторі. Розроблена модель буде надалі реалізована та використана як математичне та інформаційне забезпечення створюваного робота. Розроблена бібліотека містить реалізації алгоритмів прямої кінематики та ітераційних алгоритмів зворотної кінематики.

Робот InMoov — платформа, що широко використовується в дослідницьких завданнях, підтримувана пакетом MyRobotLab. Досліджено пряму кінематичну модель для лівої та правої руки робота. На основі мови програмування Python розрахований робочий простір для роботів-маніпуляторів, з використанням бібліотеки matplotlib розроблено алгоритм методу ітерацій для знаходження ймовірного шляху руху роботів-маніпуляторів у просторі. Запропоновано модель структурованої штучної нейронної мережі (ШНМ), яка використовується для вирішення зворотної кінематики робота InMoov із шістьма ступенями свободи (4 ступеня свободи). Модель ШНМ, що застосовується, являє собою багатопшарову перцептронну нейронну мережу, в якій застосовується правило навчання типу Адама-градієнтного диска. Для вирішення цієї проблеми було вивчено завдання пошуку найкращої конфігурації ШНМ. Встановлено, що мінімальну середньоквадратичну помилку дає багатопшарова нейронна мережа перцептрон. Аналіз коефіцієнтів регресії, який показує збіг всіх комунікаційних змінних на 95,6 %, прийнятний для отримання інверсної кінематики робота InMoov.

Ключові слова: робот InMoov, кінематика маніпулятора, ітераційний алгоритм, середньоквадратична помилка Python.