

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.287791

DETECTING THE INFLUENCE OF UNEVEN LOADING OF THE BRAKE SHOE IN A FREIGHT CAR BOGIE ON ITS STRENGTH (p. 6–13)**Sergii Panchenko**Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7626-9933>**Alyona Lovska**Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8604-1764>**Vasyl Ravlyuk**Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4818-9482>**Andrii Babenko**Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6486-468X>**Oleksandr Derevyanchuk**Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3749-9998>**Oksana Zharova**Odessa Polytechnic National University, Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0106-1716>**Yaroslav Derevianchuk**Liubotyn Professional Lyceum of Railway Transport, Lyubotyn, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4932-2751>

The object of the study is the processes of occurrence, perception, and redistribution of loads in the brake shoe of a freight car bogie during braking. In order to ensure the safety of the movement of freight cars, a study of the uneven load on the bogie shoe of the model 18-100 freight car was carried out. A mathematical apparatus was built to determine the strength of the brake shoe, taking into account the uneven load transmitted to it from the brake pad. In this case, the brake shoe was considered in the form of a frame with variable stiffness. It was established that the stresses that occur in the shoe exceed the permissible ones. To test the proposed mathematical apparatus, a computer simulation of the strength of the brake shoe was carried out. In this case, the finite element method, which is implemented in SolidWorks Simulation, was used. The difference between the results obtained by mathematical modeling and computer simulation was 5.7 %.

A feature of the research results is that they make it possible to determine the moment of resistance, and accordingly, the stresses that act in the shoe along its length. This will make it possible to design its fundamentally new structure at the subsequent stages.

The field of practical application of the reported results is the engineering industry, in particular, railroad transport. The conditions for the practical application of the research results are to ensure the strength of the shoe during braking of the rolling stock in operation.

The study will contribute to advancements in improving the reliability of the braking systems of bogies, as well as ensuring the manufacturability and maintainability in the construction, operation, and repair of the components of the mechanical part of brakes for the new generation freight cars.

Keywords: freight car, brake shoe of a car, stressed state of the shoe, transport mechanics, traffic safety.

References

- 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>
- 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>
- Panchenko, S., Gerlici, J., Vatulia, G., Lovska, A., Rybin, A., Kravchenko, O. (2023). Strength Assessment of an Improved Design of a Tank Container under Operating Conditions. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 25 (3). doi: <https://doi.org/10.26552/com.c.2023.047>
- Koptovets, O., Haddad, J. S., Brovko, D., Posunko, L., Tykhonenko, V. (2020). Identification of the conditions of a mine locomotive brake system as well as its functional and morphological model with the stressed closed kinematic circuit. *E3S Web of Conferences*, 201, 01033. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101033>
- Gupta, V., Saini, K., Garg, A. K., Krishan, G., Parkash, O. (2016). Comparative Analysis of Disc Brake Model for Different Materials Investigated Under Tragic Situations. *Asian Review of Mechanical Engineering*, 5 (1), 18–23. doi: <https://doi.org/10.51983/arme-2016.5.1.2409>
- Safronov, O. (2018). Application of computer-aided simulation to obtain a more precise estimation of brake efficiency of freight wagons. *Collection of Scientific Works of the State University of Infrastructure and Technologies Series "Transport Systems and Technologies,"* 32 (2), 61–75. doi: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2018-32-2-61-75>
- Voloshin, D., Afanasenko, I., Derevianchuk, Ya. (2018). The question of the hopper-car mechanical brake elements improving. *Visnyk Shkhidnoukrajinskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*, 2 (243), 54–59. Available at: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/474997.pdf>
- Cruceanu, C., Oprea, R., Spiroiu, M., Craciun, C., Arsene, S. (2009). Computer Aided Study Regarding the Influence of Filling Characteristics on the Longitudinal Reactions within the Body of a Braked Train. *13th WSEAS International Conference on Computers*, 531–536. Available at: https://www.researchgate.net/publication/239527005_Computer_Aided_Study_Regarding_the_Influence_of_Filling_Characteristics_on_the_Longitudinal_Reactions_within_the_Body_of_a_Braked_Train
- Cruceanu, C. (2012). Train Braking. *Reliability and Safety in Railway*. doi: <https://doi.org/10.5772/37552>
- Kiss, I. (2016). The chemical composition of phosphorous cast irons behavior in the manufacturing of brake shoes meant for the rolling stock. *Acta Technica Corviniensis - Bulletin of Engineering*, 9 (3), 77–84. Available at: <https://www.proquest.com/docview/1806389126>
- 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>
- Cruceanu, C. (2007). *Brakes for railway vehicles*. Bucharest: Matrix Rom.
- Pascu, L. V. (2015). Cercetări privind îmbunătățirea calității saboților de frână destinați materialului rulant. *University Politehnica Timisoara*.
- Kiss, I., Cioata, V., Alexa, V., Ratiu, R. (2016). Investigations on the selection of friction materials destined to railway vehicles applications. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*, 14 (4). Available at: <https://annals.fih.upt.ro/pdf-full/2016/ANNALS-2016-4-37.pdf>

15. Panchenko, S., Gerlici, J., Vatulia, G., Lovska, A., Ravlyuk, V., Harusinec, J. (2023). Studying the load of composite brake pads under high-temperature impact from the rolling surface of wheels. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 155–167. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.002994>
16. Ravlyuk, V., Elyazov, I., Afanasenko, I., Ravliuk, M. (2020). Determination of parameters of abnormal wear of brake pads of freight cars. *E3S Web of Conferences*, 166, 07003. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016607003>
17. Chykhladze, E. D. (2011). *Opir materialiv*. Kharkiv: UkrDAZT, 366. Available at: <https://btpm.nmu.org.ua/ua/download/navch-posib/Чихладзе.ОМ.Підручник.pdf>
18. Vatulia, H. L., Hlazonov, Yu. V., Kravtsiv, L. B., Smolianiuk, N. V. (2016). *Rozrakhunok rozprinykh system*. Kharkiv: UkrDUZT, 124.
19. 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/Комп%27ютерна%20графіка.pdf>
20. 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/Інженерна%20графіка%20в%20SolidWorks.pdf>
21. Lovskaya, 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>
22. Lovskaya, A., Ryibin, A. (2016). The study of dynamic load on a wagon–platform at a shunting collision. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7(81)), 4–8. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.72054>
23. 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>
24. Stoilov, V., Simić, G., Purgić, S., Milković, D., Slavchev, S., Radulović, S., Maznichki, V. (2019). Comparative analysis of the results of theoretical and experimental studies of freight wagon Sdggmrss-twin. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 664 (1), 012026. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/664/1/012026>
25. Das, A., Agarwal, G. (2020). Investigation of Torsional Stability and Camber Test on a Meter Gauge Flat Wagon. *Advances in Fluid Mechanics and Solid Mechanics*, 271–280. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-15-0772-4_24
26. Dižo, J., Blatnický, M., Sága, M., Harušinec, J., Gerlici, J., Legutko, S. (2020). Development of a New System for Attaching the Wheels of the Front Axle in the Cross-Country Vehicle. *Symmetry*, 12 (7), 1156. doi: <https://doi.org/10.3390/sym12071156>
27. 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>
28. 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>
29. Šrůstniak, P., Moravčík, M., Smetanka, L. (2019). Investigation of strength conditions of the new wagon prototype type Zans. *MATEC Web of Conferences*, 254, 02037. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201925402037>
30. 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>
31. Lee, H.-A., Jung, S.-B., Jang, H.-H., Shin, D.-H., Lee, J. U., Kim, K. W., Park, G.-J. (2015). Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 230 (4), 1283–1296. doi: <https://doi.org/10.1177/0954409715593971>
32. Wennberg, D., Stichel, S., Wennhage, P. (2012). Substitution of corrugated sheets in a railway vehicle's body structure by a multiple-requirement based selection process. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 228 (2), 143–157. doi: <https://doi.org/10.1177/0954409712467139>
33. 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>
34. Molavitabrizi, D., Laliberte, J. (2020). Methodology for multiscale design and optimization of lattice core sandwich structures for light-weight hopper railcars. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 234 (21), 4224–4238. doi: <https://doi.org/10.1177/0954406220920694>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.287673

**COMPARING THE EFFICIENCY OF STRENGTHENING
TIMBER BEAMS REINFORCED WITH CARBON
COMPOSITE RODS AND PLATES (p. 14–22)**

Serhiy Bula

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0607-5324>

Andriy Pelekh

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0390-0915>

This study reports the results of experiments comparing the effect of structural reinforcement for timber beams strengthened with different carbon composite materials. Samples of one series were strengthened by gluing a carbon fiber plate from the outside to the face of the beam. The samples of the other series were strengthened by laterally gluing two carbon fiber rods inside the beam.

According to the bending research program, the ultimate loads and deflections were determined for both series. As a result of the analysis of the results and comparison with unreinforced samples from the control series, the effect of beam reinforcement and the model of their destruction were determined. Studies have shown that the effect of external reinforcement with a plate was 86.7 % according to the criterion of full failure load, 20.5 % according to the criterion of ultimate load, 13.4 % according to the criterion of ultimate deflection. The effect of rod reinforcement was 48.6 %, 18.6 %, and 4.1 %, respectively. The theoretical analysis of the results showed a convergence of up to 8.2 % with the experimental results.

External reinforcement with a plate compared to lateral gluing of rods showed better results due to the placement of the plate in the zone of maximum tensile stresses. This arrangement more effectively limited the spread of ultimate stresses and the development of cracks.

The reinforcement parameters of the samples (materials, placement, percentage of reinforcement) were selected under the condition of the same theoretically predicted bearing capacity after reinforcement. However, comparative experimental studies have revealed differences in the processes of deformation and destruction of reinforced beams.

The results will contribute to making rational project decisions and for choosing a relevant technique of strengthening timber beams with carbon composite materials.

Keywords: carbon composite materials, flexural strength, stiffness, reinforcement efficiency, timber beams.

References

- Meier, U. (2001). Strengthening and stiffening of historic wooden structures with CFRP. FRP composites in civil engineering: proceedings of the international conference.
- Kawecki, B., Sumorek, A. (2022). Study on Profitability of Combining Wood and CFRP into Composite Based on Mechanical Performance of Bent Beams. *Applied Sciences*, 12 (20), 10304. doi: <https://doi.org/10.3390/app122010304>
- Plevris, N., Triantafyllou, T. C. (1992). FRP Reinforced Wood as Structural Material. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 4 (3), 300–317. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0899-1561\(1992\)4:3\(300\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0899-1561(1992)4:3(300))
- Saucier, J. R., Holman, J. A. (1975). Structural particleboard reinforced with glass fiber—Progress in its development. *Forest Prod. J.*, 25 (9), 69–72.
- Bulleit, W. M. (1984). Reinforcement of wood materials: A review. *Wood and fiber Science*, 3, 391–397. Available at: <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/832>
- Ianasi, A. C. (2015). On the role of CFRP reinforcement for wood beams stiffness. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 95, 012015. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/95/1/012015>
- Karagöz İşleyen, Ü., Kesik, H. İ. (2021). Experimental and numerical analysis of compression and bending strength of old wood reinforced with CFRP strips. *Structures*, 33, 259–271. doi: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.04.070>
- Saad, K., Lengyel, A. (2022). Experimental, Analytical, and Numerical Assessments for the Controversial Elastic Stiffness Enhancement of CFRP-Strengthened Timber Beams. *Polymers*, 14 (19), 4222. doi: <https://doi.org/10.3390/polym14194222>
- Šliwa-Wieczorek, K., Ostrowski, K. A., Jaskowska-Lemańska, J., Karolak, A. (2021). The Influence of CFRP Sheets on the Load-Bearing Capacity of the Glued Laminated Timber Beams under Bending Test. *Materials*, 14 (14), 4019. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14144019>
- Fiorelli, J., Dias, A. A. (2003). Analysis of the strength and stiffness of timber beams reinforced with carbon fiber and glass fiber. *Materials Research*, 6 (2), 193–202. doi: <https://doi.org/10.1590/s1516-14392003000200014>
- Corradi, M., Borri, A., Righetti, L., Speranzini, E. (2017). Uncertainty analysis of FRP reinforced timber beams. *Composites Part B: Engineering*, 113, 174–184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.01.030>
- Schober, K., Franke, S., Rautenstrauch, K. (2006). In-situ strengthening of timber structures with CFRP. CIB-W18/39-12-2. Florence. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Steffen-Franke-2/publication/306091279_In-situ_strengthening_of_timber_structures_with_CFRP/links/5848237508ae95e1d16651a6/In-situ-strengthening-of-timber-structures-with-CFRP.pdf
- Brol, J., Wdowiak-Postulak, A. (2019). Old Timber Reinforcement with FRPs. *Materials*, 12 (24), 4197. doi: <https://doi.org/10.3390/ma12244197>
- Biscaia, H. C., Chastre, C., Cruz, D., Franco, N. (2017). Flexural Strengthening of Old Timber Floors with Laminated Carbon Fiber-Reinforced Polymers. *Journal of Composites for Construction*, 21 (1). doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cc.1943-5614.0000731](https://doi.org/10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000731)
- Borri, A., Corradi, M., Grazini, A. (2005). A method for flexural reinforcement of old wood beams with CFRP materials. *Composites Part B: Engineering*, 36 (2), 143–153. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2004.04.013>
- Johnsson, H., Blanksvärd, T., Carolin, A. (2006). Glulam members strengthened by carbon fibre reinforcement. *Materials and Structures*, 40 (1), 47–56. doi: <https://doi.org/10.1617/s11527-006-9119-7>
- Nianqiang, Z., Weixing, S. (2017). Experimental investigations of timber beams strengthened by CFRP and Rebars under bending. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 191, 012043. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/191/1/012043>
- Wdowiak-Postulak, A. (2022). Strengthening of Structural Flexural Glued Laminated Beams of Ashlar with Cords and Carbon Laminates. *Materials*, 15 (23), 8303. doi: <https://doi.org/10.3390/ma15238303>
- BS EN 408:2003. Timber structures. Structural timber and glued laminated timber. Determination of some physical and mechanical properties. Available at: <https://knowledge.bsigroup.com/products/timber-structures-structural-timber-and-glued-laminated-timber-determination-of-some-physical-and-mechanical-properties-2/standard/details>
- Carboplate. Available at: https://cdnmedia.mapei.com/docs/libraries/provider58/products-documents/1001_carboplate_gb.pdf?sfvrsn=9e5f46ec_0
- Maperod C. Maperod G. Available at: https://cdnmedia.mapei.com/docs/libraries/provider12/products-documents/1_01015_maperod-c_en_cd885f927c8842beab063d7a02cba08f.pdf?sfvrsn=9c63b22d_0
- Bula, S., Kholod, M. (2020). Experimental Study of Compressed Ceramic Hollow Brick Masonry Structures Strengthened with GFRP Meshes. *Proceedings of EcoComfort 2020*, 71–78. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_9
- Bula, S., Kholod, M. (2022). Experimental Research of Damaged Clay Solid-Brick Masonry Strengthened with GFRP Wrapping. *Proceedings of EcoComfort 2022*, 48–55. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-14141-6_5
- EN 1995-1-1 (2004) (English): Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings. Available at: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1995.1.1.2004.pdf>
- CNR-DT 201/2005 (2007). Guidelines for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures. *Timber Structures*. Available at: <https://www.cnr.it/en/node/2637>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289986

DEVISING PROCEDURES FOR DESIGN AND VERIFICATION CALCULATIONS OF THE BEAM-WALL WITH EDGE BREAKS UNDER STATIC AND CYCLIC LOADS (p. 23–33)

Valerii Sokov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,
Mykolaiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3933-879X>

Leontii Korostylov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,
Mykolaiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4370-3270>

Oleksandr Shchedrolosiev

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,
Mykolaiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7972-3882>

Hryhorii Sharun

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,
Mykolaiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4646-1406>

Serhii Klymenkov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,
Mykolaiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9717-5816>

This paper considers a thin-walled steel beam-wall with broken edges, which is part of many structures. The wall of this beam consists of two prismatic parts with a straight transition from a lower wall height to a higher one, forming a broken upper edge together

with the edges of the prismatic parts. The bottom straight edge of the wall is attached to the cladding.

The beam-wall is affected by static and cyclic nominal loads, which can cause the appearance of elastic-plastic deformations in the stress concentrator. This causes non-fulfillment of static strength and the appearance and growth of fatigue cracks.

In the current work, procedures of design and verification calculation of a steel beam-wall with fractured edges at elastic static and cyclic elastic-plastic deformation in the stress concentrator are proposed. The material of the beam is ideal elastic-plastic.

Features of the procedures are the possibility of optimal design under conditions of elastic and elastic-plastic deformation, using dependences only for optimal elastic design. A distinctive signature of the procedures is that, through Neiber's formula, elastic-plastic characteristics are not determined by known elastic ones, as usual, but vice versa. According to the established dependences for cyclic elastic-plastic deformations in the concentrator, the theoretical concentration coefficient is determined, which, in turn, is involved in determining the optimal geometric parameters.

The procedures give reliable results with nominal symmetrical cyclic loads up to 0.6 of the yield strength. This is because Naber's formula always yields conservative results, causing excess strength.

The procedures can be applied separately for stretching-compression and bending, and with their combined action.

Keywords: beam-wall, broken edge, optimal design, low-cycle fatigue life, cyclic elastic-plastic deformations.

References

- Sokov, V. M. (2021). Elastic-plastic deformation of beam's web with brek of edges. *Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*, 4, 13–23. doi: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.4/03>
- Sokov, V. M. (2022). Cyclic elastic-plastic deformation in the stress raiser of the beam-web with bend of edges. *Materialy XIII mizhnar. nauk.-tekhn. konf. «Innovatsiyi v sudobuduvanni ta okeanotekhnitsi»*. Mykolaiv: NUK, C. 75–77. Available at: <https://eir.nuos.edu.ua/items/c7eba9af-2b54-4d1f-89d0-f0b013af162a>
- Rozvany, G. I. N. (1976). *Optimal Design of Flexural Systems: Beams, Grillages, Slabs, Plates and Shells*. Pergamon. doi: <https://doi.org/10.1016/c2013-0-02754-5>
- Banichuk, N. V. (1983). *Problems and Methods of Optimal Structural Design*. Springer, 313. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4613-3676-1>
- Haftka, R. T., Gürdal, Z. (1992). *Elements of Structural Optimization*. Springer, 481. doi: <https://doi.org/10.1007/978-94-011-2550-5>
- MacBain, K. M., Spillers, W. R. (2009). *Structural Optimization*. Springer, 304. doi: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-95865-1>
- Kaveh, A. (2014). *Advances in Metaheuristic Algorithms for Optimal Design of Structures*. Springer, 426. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-05549-7>
- El-Sayed, M. E. M., Lund, E. H. (1990). Structural optimization with fatigue life constraints. *Engineering Fracture Mechanics*, 37 (6), 1149–1156. doi: [https://doi.org/10.1016/0013-7944\(90\)90057-n](https://doi.org/10.1016/0013-7944(90)90057-n)
- Peng, D., Jones, R., Pitt, S. (2008). Three-dimensional structure optimal design for extending fatigue life by using biological algorithm. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 49 (1), 26–37. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2007.10.005>
- Holmberg, E., Torstenfelt, B., Klarbring, A. (2014). Fatigue constrained topology optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 50 (2), 207–219. doi: <https://doi.org/10.1007/s00158-014-1054-6>
- Desmorat, B., Desmorat, R. (2008). Topology optimization in damage governed low cycle fatigue. *Comptes Rendus Mécanique*, 336 (5), 448–453. doi: <https://doi.org/10.1016/j.crme.2008.01.001>
- Cao, M., Duan, H., He, H., Liu, Y., Yue, S., Zhang, Z., Zhao, Y. (2022). Prediction model of low cycle fatigue life of 304 stainless steel based on genetic algorithm optimized BP neural network. *Materials Research Express*, 9 (7), 076511. doi: <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ac7cc0>
- Sokov, V. M., Korostylov, L. I. (2010). Proektirovanie konstruktivnogo uzla korpusa sudna s uchedom tekhnologicheskikh faktorov. *Zbirnyk naukovykh prats NUK*, 5 (434), 3–10.
- Korostylev, L. I. (1998). Otsenka ustalostnoy prochnosti sudovykh korpusnykh konstruksiy s kontsentrorami napryazheniy. *Tr. vtoroy mezhdunar. konf. po sudostroeniyyu. ISC'98. Sektsiya S. Sankt-Peterburg: TsNII im. Akad. A.N. Krylova*, 160–167.
- Korostylev, L. I. (1998). Prakticheskaya realizatsiya eksperimental'no-teoreticheskogo metoda raschetnoy otsenki ustalostnoy dolgovechnosti sudovykh konstruksiy. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnogo morskoho tekhnichnogo universytetu. Nikolaev*, 3 (351), 3–9.
- Troschenko, V. T. (2006). Scattered fatigue damage of metals and alloys. Part 3. Deformation and energy-based criteria. *Problemy prochnosti*, 1, 5–31. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/47788>
- Makhutov, N. A. (1981). *Deformatsionnye kriteriiy razrusheniya i raschet elementov konstruksiy na prochnost'*. Moscow: Mashinostroyeniye, 272.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.287025

DEFORMATION FEATURES OF TRUNK PIPELINES WITH COMPOSITE LININGS UNDER STATIC LOADS (p. 34–42)

Arman Moldagaliyev

Mukhtar Auezov South Kazakhstan University,
Shymkent, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4286-8401>

Nurlan Zhangabay

Mukhtar Auezov South Kazakhstan University,
Shymkent, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8153-1449>

Ulanbator Suleimenov

Shymkent University, Shymkent, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7798-1044>

Konstantin Avramov

A. Pidhornyi Institute of Mechanical Engineering Problems
of National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8740-693X>

Talzhah Raimberdiyev

Peoples' Friendship University named after
Academician A. Kuatbekov, Shymkent, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3031-8143>

Maryna Chernobryvko

A. Pidhornyi Institute of Mechanical Engineering Problems
of National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8808-2415>

Altynsary Umbitaliyev

Shymkent University, Shymkent, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3604-8036>

Atogali Jumabayev

L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2211-0364>

Shairbek Yeshimbetov

Tol Kurylys LLP, Shymkent, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9844-3804>

This paper considers the deformation process of a typical section of a steel trunk pipeline with a defective zone, strengthened with a carbon fi-

ber composite lining, under the influence of stationary internal pressure. Defects in the form of thinning of the pipe thickness and cracks were investigated. The stressed-strained state of the structure at critical pressure was analyzed. The thickness of the composite lining was determined, at which the bandage compensates for the effect of internal pressure on the damaged section of the pipeline. Research was carried out numerically based on finite element modeling in the ANSYS software package.

When studying the stressed-strained state of a pipe with a defect of an arbitrary complex shape under the influence of critical pressure, a compensating value was obtained. The result showed that a carbon fiber lining with a thickness of 17 % of the rated thickness of the pipe could completely compensate for the effects of internal pressure in the defect area. In this case, the stresses in the carbon fiber lining were close to minimal. When studying the stressed-strained state of a pipe with a large crack of arbitrary shape at critical pressure, a compensating value was also obtained.

It has been established that to compensate for the concentration of internal pressure in the crack zone, the thickness of the composite lining should be at the level of 34 % of the rated thickness of the pipe. In this case, the deformation of the steel pipe in the area of the crack occurs in the elastic region. The exception is the crack tips, where plastic deformations are observed, and stresses arise up to 93 % of the ultimate strength of the pipe steel. At the same time, the stresses in the carbon fiber lining remain close to minimal. Thus, it is recommended to use carbon fiber linings with a thickness of 17 % or more of the rated pipe thickness to bandage damage constituting up to 75 % of the thickness of a steel pipe. To bandage cracks, it is recommended to use carbon fiber linings with a thickness of at least 34 % of the rated pipe thickness.

Keywords: steel pipeline, pipe reinforcement, carbon fiber reinforced plastic bandage, finite element analysis.

References

- Vishnuvardhan, S., Murthy, A. R., Choudhary, A. (2023). A review on pipeline failures, defects in pipelines and their assessment and fatigue life prediction methods. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 201, 104853. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2022.104853>
- Suleimenov, U., Zhangabay, N., Abshenov, K., Utebayeva, A., Imanaliyev, K., Mussayeva, S. et al. (2022). Estimating the stressed-strained state of the vertical mounting joint of the cylindrical tank wall taking into consideration imperfections. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (117)), 14–21. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.258118>
- Muda, M. F., Mohd Hashim, M. H., Kamarudin, M. K., Mohd, M. H., Tafsirojjaman, T., Rahman, M. A., Paik, J. K. (2022). Burst pressure strength of corroded subsea pipelines repaired with composite fiber-reinforced polymer patches. *Engineering Failure Analysis*, 136, 106204. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106204>
- Tursunkululy, T., Zhangabay, N., Avramov, K., Chernobryvko, M., Suleimenov, U., Utebayeva, A. et al. (2022). Strength analysis of prestressed vertical cylindrical steel oil tanks under operational and dynamic loads. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (116)), 14–21. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254218>
- Reis, J. M. L., Menezes, E. M., da Costa Mattos, H. S., Carbas, R. J. C., Marques, E. A., Silva, L. F. M. (2023). Strength of dissimilar adhesively bonded DCB joints and its connection with the failure pressure of composite repair systems. *Composite Structures*, 304, 116441. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.116441>
- Avramov, K. V., Uspensky, B. V., Derevyanko, I. I., Degtyaryov, M. O., Polishchuk, O. F., Chernobryvko, M. V. (2023). Dynamic properties of nanocomposite and three-layer thin-walled aerospace elements manufactured by additive technologies. *Kosmična Nauka i Tehnologija*, 29 (1), 52–64. doi: <https://doi.org/10.15407/knit2023.01.052>
- Zhao, J., Lv, Y.-R., Cheng, Y. F. (2022). Standards and methods for dent assessment and failure prediction of pipelines: A critical review. *Petroleum Science*, 19 (6), 3029–3045. doi: <https://doi.org/10.1016/j.petsci.2022.10.003>
- Kec, J., Cerny, I. (2017). Stress-strain assessment of dents in wall of high pressure gas pipeline. *Procedia Structural Integrity*, 5, 340–346. doi: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2017.07.180>
- Zhao, P., Shuai, J., Sun, M., Lv, Z., Xu, K., Wang, Y. (2021). Burst pressure of thin-walled pipes with dent and gouge defects. *Thin-Walled Structures*, 159, 107213. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.107213>
- He, Z., Zhou, W. (2021). Fatigue reliability analysis of dented pipelines. *Journal of Pipeline Science and Engineering*, 1 (3), 290–297. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpse.2021.08.004>
- Shirazi, H., Eadie, R., Chen, W. (2023). A review on current understanding of pipeline circumferential stress corrosion cracking in near-neutral PH environment. *Engineering Failure Analysis*, 148, 107215. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107215>
- Niazi, H., Eadie, R., Chen, W., Zhang, H. (2021). High pH stress corrosion cracking initiation and crack evolution in buried steel pipelines: A review. *Engineering Failure Analysis*, 120, 105013. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.105013>
- Qin, G., Cheng, Y. F. (2021). A review on defect assessment of pipelines: Principles, numerical solutions, and applications. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 191, 104329. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2021.104329>
- Tursunkululy, T., Zhangabay, N., Avramov, K., Chernobryvko, M., Kamarov, M., Abildabekov, A. et al. (2023). Oscillation frequencies of the reinforced wall of a steel vertical cylindrical tank for petroleum products depending on winding pre-tension. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (123)), 14–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.279098>
- Altenbach, H., Breslavsky, D., Chernobryvko, M., Senko, A., Tatarnova, O. (2022). Fast Fracture of Conic Shell Under the Action of Belt Explosive Charge. *Advances in Mechanical and Power Engineering*, 366–376. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-18487-1_37
- Tursunkululy, T., Zhangabay, N., Avramov, K., Chernobryvko, M., Suleimenov, U., Utebayeva, A. (2022). Influence of the parameters of the pre-stressed winding on the oscillations of vertical cylindrical steel oil tanks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (119)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265107>
- Tursunkululy, T., Zhangabay, N., Suleimenov, U., Abshenov, K., Utebayeva, A., Moldagaliyev, A. et al. (2023). Analysis of strength and eigenfrequencies of a steel vertical cylindrical tank without liquid, reinforced by a plain composite thread. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e02019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02019>
- Chernobryvko, M. V., Avramov, K. V., Romanenko, V. N., Batutina, T. J., Suleimenov, U. S. (2015). Dynamic instability of ring-stiffened conical thin-walled rocket fairing in supersonic gas stream. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 230 (1), 55–68. doi: <https://doi.org/10.1177/0954406215592171>
- Chernobryvko, M. V., Avramov, K. V., Romanenko, V. N., Batutina, T. J., Tonkonogenko, A. M. (2014). Free linear vibrations of thin axisymmetric parabolic shells. *Meccanica*, 49 (12), 2839–2845. doi: <https://doi.org/10.1007/s11012-014-0027-6>
- Alabtah, F. G., Mahdi, E., Eliyan, F. F. (2021). The use of fiber reinforced polymeric composites in pipelines: A review. *Composite Structures*, 276, 114595. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114595>
- Lim, K. S., Azraai, S. N. A., Noor, N. M., Yahaya, N. (2016). An Overview of Corroded Pipe Repair Techniques Using Composite Materials. *World Acad. Sci. Eng. Technol. Int. J. Chem. Mol. Nucl. Mater. Metall. Eng.*, 10 (1), 19–25. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1110684>
- Dong, C. (2021). Flexural behaviour of carbon and glass reinforced hybrid composite pipes. *Composites Part C: Open Access*, 4, 100090. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2020.100090>

23. Kong, D., Huang, X., Xin, M., Xian, G. (2020). Effects of defect dimensions and putty properties on the burst performances of steel pipes wrapped with CFRP composites. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 186, 104139. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2020.104139>
24. Suleimenov, U., Zhangabay, N., Utebayeva, A., Ibrahim, M. N. M., Moldagaliev, A., Abshenov, K. et al. (2021). Determining the features of oscillations in prestressed pipelines. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (114)), 85–92. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.246751>
25. Ibrahimova, U., Zhangabay, N., Tursunkululy, T., Rakhimov, M., Dossybekov, S., Kolesnikov, A. et al. (2023). Development of method for calculation of pre-strained steel cylindrical sheaths in view of the winding angle, pitch and thickness. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02233. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02233>
26. Zhangabay, N., Sapargaliyeva, B., Utebayeva, A., Kolesnikov, A., Aldiyarov, Z., Dossybekov, S. et al. (2022). Experimental Analysis of the Stress State of a Prestressed Cylindrical Shell with Various Structural Parameters. *Materials*, 15 (14), 4996. doi: <https://doi.org/10.3390/ma15144996>
27. SP RK EN 1998-4:2006/2012. Proektirovanie seymostoykikh konstruksiy. Chast' 4. Bunkery, rezervuary i truboprovody. Available at: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=37105813&doc_id2=37807474&activate_doc=2&pos=1;-0.0999908447265625&pos2=3;-100.09999084472656
28. SP RK EN 1993-4-3:2007/2011. Proektirovanie stal'nykh konstruksiy. Ch. 4-3. Truboprovody. Available at: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=34586480
29. EN 1998-4 (2006) (English): Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 4: Silos, tanks and pipelines. Available at: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/12/en.1998.4.2006.pdf>
30. EN 1993-1-8 (2005) (English): Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints. Available at: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1993.1.8.2005-1.pdf>
31. Tekhnicheskie usloviya na trubyy dlya truboprovodov. API Spec. 5L. Available at: https://buy-pipe.com/home/structure/item_214/955b42b7590d39be6f4d268afcd0a015.pdf
32. SP 284.1325800.2016. Truboprovody promyslovye dlya nefi i gaza. Pravila proektirovaniya i proizvodstvo rabot. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293742/4293742910.pdf>
33. ASME 831G-1991. Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines. Available at: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/asmeb31g.1991.pdf>
34. ASME B31.8-2003. Gas Transmission and Distribution, Piping Systems. Available at: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/asmeb31.8.2003.pdf>
35. Derevianko, I., Uspensky, B., Avramov, K., Salenko, A., Maksymenko-Sheiko, K. (2022). Experimental and numerical analysis of mechanical characteristics of fused deposition processed honeycomb fabricated from PLA or ULTEM 9085. *Journal of Sandwich Structures & Materials*, 25 (12), 264–283. doi: <https://doi.org/10.1177/10996362221137292>
36. Barbero, E. J. (2013). *Finite Element Analysis of Composite Materials Using Ansys*. CRC Press, 366. doi: <https://doi.org/10.1201/b16295>

DOI: [10.15587/1729-4061.2023.289930](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289930)

REVEALING PATTERNS IN THE BEHAVIOR OF A REINFORCED CONCRETE SLAB IN FIRE BASED ON DETERMINING ITS STRESSED AND DEFORMED STATE (p. 43–49)

Stanislav Sidnei

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7664-6620>

Andriy Berezovskiy

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4043-1206>

Serhii Kasiarum

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-1518-5151>

Ihor Chastokolenko

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9323-2684>

The object of research is the fire resistance of reinforced concrete ribbed slabs. The subject of research is the effect of the level of mechanical load on the fire resistance of the studied reinforced concrete ribbed slab under the influence of fire. Currently, the assessment of the fire resistance of such structures using the tabular method is significantly limited by certain geometric parameters of these plates. It is also not considered possible to apply the zone method, since reinforced concrete ribbed slabs consist of components that receive thermal effects according to various scenarios and geometric parameters, which is not taken into account in Eurocode 2.

Experimental calculations carried out in the current work using a refined procedure involving the finite element method allow solving the actual scientific and technical problem related to the determination of the dependence of the fire resistance of these structures on the level of load applied.

The calculation of the temperature spread over a reinforced concrete ribbed slab under the influence of the standard temperature regime of fire was carried out using convection and radiant heat exchange, which is recommended by Eurocode 2. The iterative implicit Newton-Raphson method was used to solve the mechanical problem. Evaluation of fire resistance of reinforced concrete ribbed slabs was carried out according to the onset of signs of the limit state of fire resistance due to the loss of load-bearing capacity. According to the results, it was established that at 100 % load level of the structure under investigation, the critical deflection of more than 268 mm and the rate of growth of deformation exceeding 18 mm/min were recorded simultaneously on minute 43.9.

According to the results of the research, the regularity of the limit of fire resistance of reinforced concrete ribbed slabs from the level of the applied mechanical load was established. This will make it possible to design and build buildings and structures using the specified building structures with guaranteed fire resistance classes, which improves the level of safety for people at the facilities.

Keywords: reinforced concrete ribbed slabs, fire resistance, iterative Newton-Raphson method, finite element method.

References

1. Vasilchenko, A., Danilin, O., Lutsenko, T., Ruban, A. (2021). Features of evaluation of fire resistance of reinforced concrete ribbed slab under combined effect «explosion-fire». *Materials Science Forum*, 492–499. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1038.492>
2. Yao, Y., Zhang, H., Fei Zhu, Y., Liu, Y. (2023). Progressive collapse resistance of reinforced concrete beam-column connection under fire conditions. *Structures*, 47, 1265–1283. doi: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.11.147>
3. Pozdieiev, S., Nuianzin, O., Sidnei, S., Shchিপets, S. (2017). Computational study of bearing walls fire resistance tests efficiency using different combustion furnaces configurations. *MATEC Web of*

- Conferences, 116, 02027. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711602027>
4. Nekora, O., Slovynsky, V., Pozdieiev, S. (2017). The research of bearing capacity of reinforced concrete beam with use combined experimental-computational method. MATEC Web of Conferences, 116, 02024. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711602024>
 5. Concrete Reinforcing Steel Institute - CRSI (2015). Fire Resistance of Reinforced Concrete Buildings. CRSI Technical Note ETN-B-1-16. Schaumburg, Illinois, 6.
 6. Shnal, T., Pozdieiev, S., Nuianzin, O., Sidnei, S. (2020). Improvement of the Assessment Method for Fire Resistance of Steel Structures in the Temperature Regime of Fire under Realistic Conditions. Materials Science Forum, 1006, 107–116. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1006.107>
 7. Vassart, O., Zhao, B., Cajot, L. G., Robert, F., Meyer, U., Frangi, A. (2014). Eurocodes: Background & Applications Structural Fire Design. European Union, 256. doi: <https://doi.org/10.2788/85432>
 8. Nekora, V., Sidnei, S., Shnal, T., Nekora, O., Dankevych, I., Pozdieiev, S. (2021). Determination of features of composite steel and concrete slab behavior under fire condition. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (7 (114)), 59–67. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.246805>
 9. BS EN 1992-1-1:2004+A1:2014. Eurocode 2: Design of concrete structures General rules and rules for buildings. Available at: <https://www.en-standard.eu/bs-en-1992-1-1-2004-a1-2014-eurocode-2-design-of-concrete-structures-general-rules-and-rules-for-buildings/>
 10. Mosley, B., Bungey, J., Hulse, R. (2012). Reinforced concrete design to Eurocode 2. Palgrave Macmillan. Available at: https://www.academia.edu/43123370/Reinforced_concrete_design_to_Eurocode_2
 11. Zafarullah, N., Ameir, E., Nakayama, A., Muhammad Bilal, H. S. (2022). Determination of structural reliability of a reinforced concrete slab under fire Load. E3S Web of Conferences, 347, 01009. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202234701009>
 12. Lim, L., Buchanan, A., Moss, P., Franssen, J.-M. (2004). Numerical modeling of two-way reinforced concrete slabs in fire. Engineering Structures, 26 (8), 1081–1091. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2004.03.009>
 13. Fire safety of construction. General requirements. DBN V.1.1-7-2016. Kyiv: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku ta budivnytstva, 35. Available at: <https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/28a25142ab16479b848fd157e102a044.pdf>
 14. BS EN 1363-1:2020. Fire resistance tests - General requirements.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.288520

DETERMINATION OF GAS PARAMETERS IN RESONANT PIPES AND CHANNELS OF ENGINES WITH A PERIODIC WORKFLOW USING THE PISTON ANALOGY METHOD (p. 50–59)

Alexander Khrulev

International Motor Bureau, Nemishaeva, Ukraine

ORCID <http://orcid.org/0000-0002-6841-9225>

This paper investigates a process of gas flow in the resonant tube of an engine with a periodic workflow. Analysis of various flow models and comparison of known data have shown that the problems of constructing closed 0-dimensional models of the operating cycle for some types of engines remain unresolved. Given this, the question arises about the dimensionality of models of individual engine elements, including the resonant pipe model, which must be included in the general model of the cycle, especially at the initial stage of its development.

To solve the identified problems, a mathematical model of air flow has been improved, built on the basis of an analogy with a “liquid” piston. Unlike existing ones, the piston analogy model allows one to calculate the instantaneous velocity averaged over the length of the pipe using a numerical solution of the differential equation for velocity.

To test the model built, an alternative finite-difference 1-dimensional gas-dynamic model was selected, with the help of which a test simulation of air flow in a pipe was performed. It has been established that the piston model allows one to find the flow velocity with an accuracy of 5 % for a pressure drop varying according to a sinusoidal law. The permissible limits for changes in the oscillation frequency and pipe length were found, at which the piston model has a minimum error.

Based on the results of the study, it was concluded that with a small mass and inertia of the liquid piston, the proposed model gives results close to those provided by more complex models with higher dimensionality. This indicates the possibility of using a piston model for elements such as pipes as part of a 0-dimensional thermodynamic model of engines with a periodic operating process as an approximate alternative to traditional 1-dimensional flow models.

Keywords: pulse jet engine, resonant tube, flow modeling, “liquid” piston method, piston analogy.

References

1. Gupta, H. N. (2012). Fundamentals of Internal Combustion Engines. PHI Learning Pvt. Ltd., 676.
2. Munjal, M. L. (2014). Acoustics of Ducts and Mufflers. John Wiley & Sons, 416.
3. Ismail, R. S., Jailani, A., Haron, M. A. (2017). Kadenancy effect, acoustical resonance effect valveless pulse jet engine. AIP Conference Proceedings. doi: <https://doi.org/10.1063/1.5002230>
4. Salih, A. (2016). Method of Characteristics. Available at: https://www.iist.ac.in/sites/default/files/people/IN08026/MoC_0.pdf
5. Kim, K.-H., Kong, K.-J. (2021). 1D–3D Coupling for Gas Flow Analysis of the Air-Intake System in a Compression Ignition Engine. Journal of Marine Science and Engineering, 9 (5), 553. doi: <https://doi.org/10.3390/jmse9050553>
6. Onorati, A., Montenegro, G. (2020). 1D and Multi-D Modeling Techniques for IC Engine Simulation. SAE International, 550. doi: <https://doi.org/10.4271/9780768099522>
7. Kumar, S., Prasad, S. S., Krishna, V. (2014). Design of Pulse Jet Engine for UAV. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 3 (9), 670–675. Available at: <https://www.ijert.org/research/design-of-pulse-jet-engine-for-uav-IJERTV3IS090544.pdf>
8. Ganesan, V. (2000). Computer Simulation of Compression-Ignition Engine Processes. Universities Press, 523.
9. Kalikatzarakisa, M., Coraddua, A., Theotokatos, G., Oneto, L. (2021). Development of a zero-dimensional model and application on a medium-speed marine four-stroke diesel engine. 3rd International Conference on Modelling and Optimisation of Ship Energy Systems (MOSES2019). Available at: https://www.researchgate.net/publication/352119154_Development_of_a_zero-dimensional_model_and_application_on_a_medium-speed_marine_four-stroke_diesel_engine
10. Khrulev, A., Saraiev, O. (2022). Building a mathematical model of the destruction of a connecting rod-piston group in the car engine at hydraulic lock. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (7 (117)), 40–49. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259454>
11. Khrulev, A. (2023). Analysis of pneumatic catapult launch system parameters, taking into account engine and UAV characteristics. Advanced UAV, 3 (1), 10–24. Available at: <https://publish.mersin.edu.tr/index.php/uav/article/view/1045>
12. Bellér, G., Árpád, I., Kiss, J. T., Kocsis, D. (2021). AVL Boost: a powerful tool for research and education. Journal of Physics: Conference Series, 1935 (1), 012015. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1935/1/012015>
13. Cordon, D., Dean, Ch., Steciak, J., Beyerlein, S. (2007). One-Dimensional Engine Modeling and Validation using Ricardo WAVE. Final Report KLK434-B, N07-09. National Institute for Advanced Transportation Technology, University of Idaho. Available at: <https://>

- www.academia.edu/18805887/ONE_DIMENSIONAL_ENGINE_MODELING_AND_VALIDATION_USING_RICARDO_WAVE
14. Aradhye, O., Bari, S. (2017). Continuously Varying Exhaust Pipe Length and Diameter to Improve the Performance of a Naturally Aspirated SI Engine. ASME 2017 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. doi: <https://doi.org/10.1115/imece2017-70638>
 15. Borowski, G., Ghazal, O. (2019). Use of Water Injection Technique to Improve the Combustion Efficiency of the Spark-Ignition Engine: A Model Study. *Journal of Ecological Engineering*, 20 (2), 226–233. doi: <https://doi.org/10.12911/22998993/99689>
 16. Magdas, V. B., Mastan, D. C., Burnete, N. (2020). Simulation possibilities of the internal combustion engine management elements using Lotus Engine Simulation software. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 997 (1), 012121. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/997/1/012121>
 17. Thompson, B., Yoon, H.-S. (2020). Internal Combustion Engine Modeling Framework in Simulink: Gas Dynamics Modeling. Modeling and Simulation in Engineering, 2020, 1–16. doi: <https://doi.org/10.1155/2020/6787408>
 18. Kong, K.-J., Jung, S.-H., Jeong, T.-Y., Koh, D.-K. (2019). 1D-3D coupling algorithm for unsteady gas flow analysis in pipe systems. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33 (9), 4521–4528. doi: <https://doi.org/10.1007/s12206-019-0848-2>
 19. Chiodi, M. (2011). An Innovative 3D-CFD-Approach towards Virtual Development of Internal Combustion Engines. Springer, Wiesbaden, 245. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-8348-8131-1>
 20. Mohsen, K. K., Hussain, Z. H. (2021). Numerical Comparison between Two Tailpipe Shapes of Valved Pulsejet Engine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1094 (1), 012001. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1094/1/012001>
 21. Melo, A. S. M. (2019). Pulsejet Engine Performance Estimation (Versão Revista Após Discussão). *Covilhã*, 72. Available at: https://web.archive.org/web/20200709134701/https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/8866/1/6820_14614.pdf
 22. Isac, J. K. R., Mohanraj, L., Sai, E. S., Kannan, V. K. (2014). Numerical simulation of a hydrocarbon fuelled valveless pulsejet. *Propulsion and Power Research*, 3 (2), 90–95. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jppr.2014.05.004>
 23. Smajevic, I. (2010). Experimental Study and Computational Modelling of Gas-Fired Pulse Combustion. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 1, 1–12. doi: <https://doi.org/10.15282/ijame.1.2010.1.0001>
 24. Van Heerbeek, P. A. (2008). Mathematical Modelling of a Pulse Combustor of the Helmholtz-type. Delft, 146. Available at: https://diamhomes.ewi.tudelft.nl/~kviuk/numanal/heerbeek_afst.pdf
 25. Anand, R., Kukar, N., Kumar, V., Nandakumar, K. (2011). Design and realization of a valveless pulsejet engine to demonstrate pulse mode combustion. 25th National Convention of Aerospace Engineering (NCAE 2011). Ranchi.
 26. Anand, V., Jodele, J., Shaw, V., Russell, A., Prisell, E., Lyrsell, O., Gutmark, E. (2020). Visualization of Valved Pulsejet Combustors and Evidence of Compression Ignition. *Flow, Turbulence and Combustion*, 106 (3), 901–924. doi: <https://doi.org/10.1007/s10494-020-00203-4>
 27. Anand, V., Jodele, J., Prisell, E., Lyrsell, O., Gutmark, E. (2020). Dynamic Features of Internal and External Flowfields of Pulsejet Engines. *AIAA Journal*, 58 (10), 4204–4211. doi: <https://doi.org/10.2514/1.j059685>
 28. Roache, P. J. (1998). *Fundamentals of Computational Fluid Dynamics*. Hermosa Pub, 648.
 29. XLfit. Expanding the Power of Excel. Industry standard models built-in with support for designing and sharing your own models. Available at: <https://www.idbs.com/xlfit/>
 30. Geng, T., Paxson, D., Zheng, F., Kuznetsov, A., Roberts, W. (2008). Comparison Between Numerically Simulated and Experimentally Measured Flowfield Quantities Behind a Pulsejet. 44th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit. doi: <https://doi.org/10.2514/6.2008-5046>
 31. Idelchik, I. E. (1966). *Handbook of Hydraulic Resistance*. Coefficients of Local Resistance and of Friction. Israel Program for Scientific Translations Ltd., 517. Available at: <https://www.nrc.gov/docs/ML1220/ML12209A041.pdf>
 32. Biringen, S., Chow, C. (2011). *An Introduction to Computational Fluid Mechanics by Example*. John Wiley & Sons, Inc. doi: <https://doi.org/10.1002/9780470549162>
 33. Pearson, R. J., Bassett, M. D., Fleming, N. P., Rodemann, T. (2002). Lotus Engineering Software – An Approach to Model-Based Design. The 2002 North American ADAMS Conference in Scottsdale, Arizona. Available at: <https://ru.scribd.com/document/215011237/Lotus-Paper>
 34. Blackstock, D. T. (2000). *Fundamentals of Physical Acoustics*. Wiley-Interscience, 560.
 35. Moussou, P., Testud, Ph., Aure'gan, Y., Hirschberg, A. (2007). An Acoustic Criterion for the Whistling of Orifices in Pipes. ASME 2007 Pressure Vessels and Piping Conference. doi: <https://doi.org/10.1115/pvp2007-26157>
-
- DOI: 10.15587/1729-4061.2023.288548**
CONSTRUCTION OF MATHEMATICAL MODEL OF PARTICLE MOVEMENT BY AN INCLINED SCREW ROTATING IN A FIXED CASING (p. 60–69)
- Tetiana Volina**
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8610-2208>
- Serhii Pylypaka**
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1496-4615>
- Mykhailo Kalenyk**
Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko,
Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7416-4233>
- Serhii Dieniezhnikov**
Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko,
Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3289-8399>
- Victor Nesvidomin**
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1495-1718>
- Iryna Hryshchenko**
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1000-9805>
- Yana Lytvynenko**
Sumy Regional Institute of Postgraduate Pedagogical Education,
Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4783-995X>
- Artem Borodai**
Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4221-0332>
- Dmytro Borodai**
Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0771-9769>
- Yana Borodai**
Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0048-815X>

Screw conveyors are used to move bulk materials vertically upwards, horizontally, and at an angle to the horizon. The processes that take place when particles are moved by a screw conveyor in vertical and horizontal directions have been studied. There is a significant difference between them: for transportation in the vertical direction, the necessary conditions must be ensured (sufficient angular speed of rotation of the screw), and for horizontal transportation, the movement of the particle occurs at any angular speed of rotation of the screw. Therefore, when changing the inclination of the axis of the screw, there comes a moment when transportation becomes possible, while it was impossible in the vertical direction.

This paper considers the movement of a particle under the condition that it simultaneously contacts two surfaces: the moving surface of the screw and the stationary surface of the cylindrical casing in which the screw rotates. Their common line along which the particle slides is a helical line – the periphery of the screw. The particle slides along the helical line of the rotating screw, i.e., it is in relative motion with respect to it. At the same time, it slides along the surface of the casing, relative to which it is in absolute motion. The trajectory of the particle's absolute motion is its sliding track on the casing surface.

When constructing differential equations of the relative motion of particles, the forces applied to the particle were taken into account. The initial position was taken to be the vertical direction of the screw to transport the particle upwards. If an auger in a cylindrical casing is tilted from the vertical direction to a certain angle, then all applied forces (except the force of weight) will also tilt to this angle. On the basis of this, generalized differential equations of the relative motion of a particle during its transportation by an inclined screw were built. They made it possible to derive a generalized mathematical model of the movement of a particle by an inclined screw that rotates inside a fixed casing.

Keywords: force applied to a particle, differential equations of motion, cylindrical casing, angle of inclination of the screw.

References

- Gaponova, O. P., Antoszewski, B., Tarelnyk, V. B., Kurp, P., Myslyvchenko, O. M., Tarelnyk, N. V. (2021). Analysis of the Quality of Sulfomolybdenum Coatings Obtained by Electrospark Alloying Methods. *Materials*, 14 (21), 6332. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14216332>
- Tarelnyk, V. B., Konoplianchenko, Ie. V., Gaponova, O. P., Tarelnyk, N. V., Martynkovskyy, V. S., Sarzhanov, B. O. et al. (2020). Effect of Laser Processing on the Qualitative Parameters of Protective Abrasion-Resistant Coatings. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 58 (11-12), 703–713. doi: <https://doi.org/10.1007/s11106-020-00127-8>
- Gorobets, V., Trokhaniak, V., Bohdan, Y., Antypov, I. (2021). Numerical Modeling Of Heat Transfer And Hydrodynamics In Compact Shifted Arrangement Small Diameter Tube Bundles. *Journal of Applied and Computational Mechanics*, 7 (1), 292–301. doi: <https://doi.org/10.22055/jacm.2020.31007.1855>
- Pankiv, M., Pylypets, M., Pankiv, V., Pankiv, Y., Dubchak, N. (2022). Methodology for refining the performance of screw conveyor. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*, 105 (1), 95–107. doi: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2022.01.095
- Rogatynskyi, R., Hevko, I., Diachun, A., Rogatynska, O., Melnychuk, A. (2019). The cargo movement model by the screw conveyor surfaces with the rotating casing. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*, 92 (4), 34–41. doi: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2018.04.034
- Djuraev, A., Yuldashev, K., Teshaboyev, O. (2023). Theoretical studies on screw conveyor for transportation and cleaning of linter and design of constructive parameters of transmissions. *Scientific and Technical Journal of Namangan Institute of Engineering and Technology*, 8 (1), 29–35. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7945187>
- To'raev, S. A., Rahmatov, S. M. (2022). Development of an effective design and justification of the parameters of the screw conveyor for the transportation and cleaning of cotton. *Universum*, 2 (95). Available at: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13150>
- Rohatynskyi, R., Gevko, I., Diachun, A., Lyashuk, O., Skyba, O., Melnychuk, A. (2019). Feasibility Study of Improving the Transport Performance by Means of Screw Conveyors with Rotary Casings. *Acta Technologica Agriculturae*, 22 (4), 140–145. doi: <https://doi.org/10.2478/ata-2019-0025>
- Volina, T., Pylypaka, S., Nesvidomin, V., Pavlov, A., Dranovska, S. (2021). The possibility to apply the Frenet trihedron and formulas for the complex movement of a point on a plane with the predefined plane displacement. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (111)), 45–50. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232446>
- Ahmed, A. K., Nesvidomin, A., Pylypaka, S., Volina, T., Dieniezhnikov, S. (2023). Determining regularities in the construction of curves and surfaces using the Darboux trihedron. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (1 (123)), 6–12. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.279007>
- Pylypaka, S. F., Nesvidomin, V. M., Klendii, M. B., Rogovskii, I. L., Kresan, T. A., Trokhaniak, V. I. (2019). Conveyance of a particle by a vertical screw, which is limited by a coaxial fixed cylinder. *Bulletin Of The Karaganda University-Mathematics*, 95 (3), 108–119. doi: <https://doi.org/10.31489/2019m2/108-119>
- Pylypaka, S., Volina, T., Nesvidomin, A., Babka, V., Shuliak, I. (2022). The transportation of the material particle by the vertical auger. *Applied Geometry And Engineering Graphics*, 102, 165–180. doi: <https://doi.org/10.32347/0131-579x.2022.102.165-180>
- Lyubin, M., Tokarchuk, O., Yaropud, V. (2016). Features of work of steeply inclined spiral conveyers are at moving of corn products. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*, 3 (95), 235–240. Available at: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewById/1086461.pdf>
- Serilko, L. S., Shchuryk, V. O., Serilko, D. L. (2014). Calculation of feeders' parameters of horizontal helical conveyors. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya. Tekhnichni nauky*

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.290029

DEVELOPMENT OF A DISCREET-CONTINUOUS MATHEMATICAL MODEL OF A PERCUSSION DEVICE WITH PARAMETERS OF INFLUENCE ON THE CHARACTERISTICS OF AN IMPACT PULSE (p. 70–79)

Viktor Slidenko

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9313-331X>

Oleksandr Slidenko

“Fenix-K” Limited Liability Company, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7000-9286>

Liubov Marchuk

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2099-4538>

Viacheslav But

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7024-1184>

A study of a model of a discrete-continuous type of impactor in the energy transfer phase during the impact of a striker and a tool is presented. The device is used to destroy rocks, in construction equipment, and in the oil industry. In the mathematical model, the tool is represented by a rod with a variable profile, and the striker is a discrete element with

a consolidated mass. The presence of rigid and dissipative connections models the impact interaction. The motion of the interacting elements of the impactor is described by a system of differential equations linked by boundary and initial conditions. The model allows determining the parameters of influence on the characteristic of the shock pulse at variable resistance of the working medium. The force of impact of a discrete element and the contact end of the rod is represented as a power law dependent on the difference in displacements of the contacting elements. The finite difference method is used to solve the initial boundary value problem. The parameters of the difference scheme were determined through modelling problems and were as follows: time step $(1, \dots, 5) \cdot 10^{-5}$; length step – $(0.1 \dots 0.3)$ of the tool length, and for the mixed scheme – within $0.5 \dots 0.8$. It was found that the time of striker-to-tool co-impact, depending on the stiffness coefficient, was $200 \dots 300 \mu\text{s}$. With a load of up to 90 kN in the time range of $0 \dots 4 \text{ ms}$, the normal stresses in the tool sections at different times were $200 \dots 250 \text{ MPa}$. The combination of discrete and continuous elements simplifies the calculation scheme. It allows to determine the distribution of force characteristics in the cross-sections of the tool, the force and time of impact, and the influence of the working environment on these parameters. The developed model can be used to design impactors and optimize their parameters.

Keywords: impact device, discrete-continuous model, co-impact force, boundary conditions, dissipative resistance.

References

- Xu, Q., Huang, Y. Y., Tian, X. Y. (2010). Present situation and development trends of hydraulic impactors research. *Construction Machinery and Equipment*, 6, 47–62.
- Batako, A. D., Babitsky, V. I., Halliwell, N. A. (2004). Modelling of vibro-impact penetration of self-exciting percussive-rotary drill bit. *Journal of Sound and Vibration*, 271 (1-2), 209–225. doi: [https://doi.org/10.1016/s0022-460x\(03\)00642-4](https://doi.org/10.1016/s0022-460x(03)00642-4)
- Neyman, V., Neyman, L. (2017). Dynamical model the synchronous impact electromagnetic drive mechatronic modul. *12 International forum on strategic technology*, 1, 188–193.
- Yu Neyman, V., Markov, A. V. (2018). Linear electromagnetic drive of impact machines with retaining striker. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 194, 062023. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/194/6/062023>
- Yang, G., Fang, J. (2012). Structure Parameters Optimization Analysis of Hydraulic Hammer System. *Modern Mechanical Engineering*, 2 (4), 137–142. doi: <https://doi.org/10.4236/mme.2012.24018>
- Slidenko, V. M., Shevchuk, S. P., Zamaraieva, O. V., Listovshchyk, L. K. (2013). *Adaptyvne funktsionuvannya impulsnykh vykonavchykh orhaniv hirnychykh mashyn*. Kyiv: NTUU "KPI", 180.
- Zhukov, I. A., Molchanov, V. V. (2014). Rational Designing Two-Stage Anvil Block of Impact Mechanisms. *Advanced Materials Research*, 1040, 699–702. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1040.699>
- Zhukov, I. A., Dvornikov, L. T., Nikitenko, S. M. (2016). About creation of machines for rock destruction with formation of apertures of various cross-sections. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 124, 012171. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/124/1/012171>
- Zhukov, I., Repin, A., Timofeev, E. (2018). Automated calculation and analysis of impacts generated in mining machine by anvil blocks of complex geometry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 134, 012071. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/134/1/012071>
- Slidenko, A. M., Slidenko, V. M., Valyukhov, S. G. (2021). Discrete-continuous three-element model of impact device. *Journal of Physics: Conference Series*, 2131 (3), 032091. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2131/3/032091>
- Slidenko, A. M., Slidenko, V. M. (2019). Numerical research method of an impact device model. *Journal of Physics: Conference Series*, 1203, 012086. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1203/1/012086>
- Vasylenko, M., Oleksiichuk, O. (2004). *Teoriia kolyvan i stiikosti rukhu*. Kyiv: Vyscha shkola, 525.
- Samarskii, A. (2001). *The Theory of Difference Schemes*. Boca Raton: CRC Press, 786. doi: <https://doi.org/10.1201/9780203908518>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289232

DESIGN AND EVALUATION OF HOLLOW FRAME STRUCTURES FOR THE DEVELOPMENT OF URBAN-CENTRIC TWO-PASSENGER ELECTRIC VEHICLES (p. 80–86)

Muhammad Hidayat Tullah

Universitas Indonesia, Kukusan, Kecamatan Beji, Depok, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1250-0710>

Danardono Agus Sumarsono

Universitas Indonesia, Kukusan, Kecamatan Beji, Depok, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9892-4855>

Iwan Susanto

Politeknik Negeri Jakarta, Kukusan, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7120-0374>

Fuad Zainuri

Politeknik Negeri Jakarta, Kukusan, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8996-281X>

Sonki Prasetya

Politeknik Negeri Jakarta, Kukusan, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1191-5287>

Rahmat Noval

Universitas Indonesia, Kukusan, Kecamatan Beji, Depok, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7884-9301>

Sulaksana Permana

Gunadarma University, Depok, West Java, Indonesia
Universitas Indonesia, Pondok Cina, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3473-5892>

Bayu Dwi Aprianto

Universitas Indonesia, Kukusan, Kecamatan Beji, Depok, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1402-9378>

This paper focuses on the design and evaluation of hollow frame structures for the development of two-passenger electric vehicles targeted for urban use. The primary problem addressed is the lack of focused research on efficient, lightweight, and safe electric vehicle frame designs, particularly for urban transportation needs. Through 3D simulation and Finite Element Analysis (FEA), this paper successfully develops a hollow frame design with dimensions of $2,148 \times 800 \times 640 \text{ mm}$ and a weight of 40.77 kg that meets strength and stiffness criteria. The analysis shows that the design has an adequate safety margin with a safety factor of $2.053e+01$. ASTM A36 steel is chosen as the material, balancing strength, stiffness, and cost. The results offer an innovative and practical solution to urban transportation issues, with broad potential applications in the electric vehicle industry. In particular, this study focuses on the specialized needs of urban-centric, two-passenger electric vehicles. The Finite Element Analysis (FEA) used here serves as a robust validation method, effectively reducing the need for extensive physical testing. This accelerates the R&D process and opens possibilities for future studies on alternative

materials and dynamic loading conditions. The study's limitations and future research directions are also discussed. Moreover, the study's computational methods offer an eco-friendly alternative to traditional physical prototypes. This aligns with sustainability goals and provides methodologies for future studies. With rising urban populations, the demand for efficient vehicles is increasing. This study paves the way for city-focused, two-passenger electric cars that meet modern urban needs and sustainability goals.

Keywords: electric vehicles, hollow frame structures, urban transportation.

References

- Khalili, S., Rantanen, E., Bogdanov, D., Breyer, C. (2019). Global Transportation Demand Development with Impacts on the Energy Demand and Greenhouse Gas Emissions in a Climate-Constrained World. *Energies*, 12 (20), 3870. doi: <https://doi.org/10.3390/en12203870>
- Cunanan, C., Tran, M.-K., Lee, Y., Kwok, S., Leung, V., Fowler, M. (2021). A Review of Heavy-Duty Vehicle Powertrain Technologies: Diesel Engine Vehicles, Battery Electric Vehicles, and Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles. *Clean Technologies*, 3 (2), 474–489. doi: <https://doi.org/10.3390/cleantechnol3020028>
- Liu-Henke, X., Scherler, S., Fritsch, M., Quantmeyer, F. (2016). Holistic development of a full-active electric vehicle by means of a model-based systems engineering. 2016 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE). doi: <https://doi.org/10.1109/syseng.2016.7753142>
- Sutisna, N. A., Akbar, M. F. A. A. (2019). FEM Simulation of Electric Car Chassis Design with Torsional Bar Technology. *Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics*, 3 (2), 97. doi: <https://doi.org/10.33021/jmem.v3i2.542>
- Luque, P., Mántaras, D. A., Maradona, Á., Roces, J., Sánchez, L., Castejón, L., Malón, H. (2020). Multi-Objective Evolutionary Design of an Electric Vehicle Chassis. *Sensors*, 20 (13), 3633. doi: <https://doi.org/10.3390/s20133633>
- Nazaruddin, N., Adhitya, M., Sumarsono, D. A., Siregar, R., Heryana, G., Prasetya, S., Zainuri, F. (2021). Development of electric vehicle (EV)-bus chassis with reverse engineering method using static analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (110)), 15–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.219928>
- Soon Keyey Tiew, H., Wei Lee, M., Shyang Chang, W., Ishak, M. H. H., Ismail, F. (2020). Fluid-Structure Interaction on The Design of Fully Assembled Shell Eco-Marathon (SEM) Prototype Car. *CFD Letters*, 12 (12), 115–136. doi: <https://doi.org/10.37934/cfdl.12.12.115136>
- Patel, D., Jasani, V., Shah, D., Lakdawala, A. (2022). Design and FE analysis of chassis for solar powered vehicle. *Materials Today: Proceedings*, 62, 1626–1631. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.137>
- Suraji, A., Djakfar, L., Wicaksono, A. (2021). Analysis of bus performance on the risk of traffic accidents in East Java-Indonesia. *EU-REKA: Physics and Engineering*, 3, 111–118. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001820>
- Nugraha, A. A., Sumarsono, D. A., Adhitya, M., Prasetya, S. (2021). Development of Brake Booster Design for Electric City Cars. *International Journal of Technology*, 12 (4), 802. doi: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v12i4.4636>
- Nandhakumar, S., Seenivasan, S., Mohammed Saalih, A., Saifudheen, M. (2021). Weight optimization and structural analysis of an electric bus chassis frame. *Materials Today: Proceedings*, 37, 1824–1827. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.404>
- Misra, S. (2017). Static Analysis of the Roll Cage of an All-Terrain Vehicle (SAE BAJA). *International Research Journal of Engineering and Technology*, 04 (09). Available at: <https://www.irjet.net/archives/V4/i9/IRJET-V4I9157.pdf>
- Kasi V Rao, P., Sai Kumar Putsala, K., Muthupandi, M., Mojeswararao, D. (2022). Numerical analysis on space frame chassis of a formula student race car. *Materials Today: Proceedings*, 66, 754–759. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.077>
- S. Gupta, U., Jain, S., Jain, H., Singh Rathi, S. (2015). Static & Dynamic Analysis of F-SAE Roll cage Vehicle. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 27 (5), 245–247. doi: <https://doi.org/10.14445/22315381/ijett-v27p244>
- Upadhyay, P., Kumar Sharma, S., Kumar, G., Bansal, P., Sharma, P. (2020). Optimization of chassis for a solar powered vehicle. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 748 (1), 012021. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/748/1/012021>
- Kumaresan, M., Shanthini, B., Rajesh, S., Raja Guru, R., Rajesh Kannaa, S. V., Prasanth, B. (2018). Design and analysis of a two seater electric car. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9, 94–100. Available at: https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal_uploads/IJMET/VOLUME_9_ISSUE_3/IJMET_09_03_011.pdf
- Krzikalla, D., Mesicek, J., Petru, J., Sliva, A., Smiraus, J. (2019). Analysis of Torsional Stiffness of the Frame of a Formula Student Vehicle. *Journal of Applied Mechanical Engineering*, 08 (01). doi: <https://doi.org/10.35248/2168-9873.19.8.315>
- Hazimi, H., Ubaidillah, Setiyawan, A. E. P., Ramdhani, H. C., Saputra, M. Z., Imaduddin, F. (2018). Vertical bending strength and torsional rigidity analysis of formula student car chassis. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/1.5024109>
- Ary, A. K., Prabowo, A. R., Imaduddin, F. (2020). Structural assessment of alternative urban vehicle chassis subjected to loading and internal parameters using finite element analysis. *Journal of Engineering Science and Technology*, 15 (3), 1999–2022.
- Nazaruddin, N., Syehan, A., Heryana, G., Adhitya, M., Sumarsono, D. A. (2019). Mode Shape Analysis of EV-Bus Chassis with Reverse Engineering Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 694 (1), 012002. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/694/1/012002>
- Amale, T., Badwaik, P., Durge, S., Dube, A., Belveker, A. (2021). FEA Approach for Modal Analysis of an Electric Motor in Electric Vehicle Drive. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 425–434. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-15-9853-1_36
- Heryana, G., Adhitya, M., Sumarsono, D. A., Nazaruddin, Siregar, R., Prasetya, S., Aprianto, B. D. (2021). Designing an electric motor with 200 KW of power for the needs of large electric vehicles. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0066917>
- Wei, D., He, H., Cao, J. (2020). Hybrid electric vehicle electric motors for optimum energy efficiency: A computationally efficient design. *Energy*, 203, 117779. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117779>
- Eldho Aliasand, A., Josh, F. T. (2020). Selection of Motor foran Electric Vehicle: A Review. *Materials Today: Proceedings*, 24, 1804–1815. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.605>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.290035

IDENTIFYING THE INFLUENCE OF REINFORCEMENT RATIO ON CRACK BEHAVIOUR OF RIGID PAVEMENT (p. 87–94)

Agoes Soehardjono

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6172-4457>

Ari Wibowo

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9423-2248>

Devi Nuralinah

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4236-2492>

Candra Aditya

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1249-893X>

The problem found in many rigid pavement concrete slabs is the occurrence of cracks. Research on the width of cracks in rigid pavement due to the influence of reinforcement ratio is necessary because the stiffness and strength of concrete slabs are related to slab thickness, concrete quality, reinforcing steel quality and reinforcement numbers. This study aims to determine the cracking behavior of rigid pavements subjected to monotonic static line loads due to variations in reinforcement ratio experimentally. Specimens tested in the laboratory were $2 \times 0.6 \times 0.2$ m concrete slabs placed on 30 cm thick soil with 6% CBR value as a support. The variation of reinforcement ratio was $\rho=0.004$; $\rho=0.007$; $\rho=0.01$; $\rho=0.02$. Concrete quality $f_c=30$ MPa, steel quality $f_u=580$ MPa. The results shows at small reinforcement ratios the results are close to the average crack width of the formula from the regulations and at large reinforcement ratios the results are further away from the average crack width based on the formula in the regulations. The largest crack width observed in this study occurred in rigid pavement with a reinforcement ratio of $\rho=0.004$, under a load of 210 KN, resulting in a crack width of 0.519 mm. It was found that the relationship between crack width and the reinforcement ratio follows a linear equation across all variations. The research also revealed variations in crack width between experiments conducted under different design codes, with results closely aligning with the average crack width determined by rule-based formulas, especially for a small reinforcement ratio ($\rho=0.004$). Conversely, for a larger reinforcement ratio ($\rho=0.01$), the results deviated further from the crack width predicted by the code-based formula.

Keywords: reinforcement ratio, cracking behavior, crack width, rigid pavement, concrete, load.

References

- Soehardjono, A., Aditya, C. (2021). Analysis of the effect of slab thickness on crack width in rigid pavement slabs. *EUREKA: Physics and Engineering*, 2, 42–51. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001693>
- Fang, M., Zhou, R., Ke, W., Tian, B., Zhang, Y., Liu, J. (2022). Precast system and assembly connection of cement concrete slabs for road pavement: A review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 9 (2), 208–222. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.10.003>
- Ningrum, D., Wijaya, H. S., Van, E. (2023). Effect of Treatment Age on Mechanical Properties of Geopolymer Concrete. *Asian Journal Science and Engineering*, 1 (2), 121. doi: <https://doi.org/10.51278/ajse.v1i2.544>
- Aditya, C., Irawan, D., Silviana, S. (2021). Implementation of marble waste as aggregate material rigid pavement. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 76–88. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001932>
- Panchev, A., Usoltsev, A., Ivanov, A., Poljakov, S. (2022). Increasing the durability of pavement on operational steel spans by reinforcement with composite materials. *Transportation Research Procedia*, 63, 1927–1935. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.213>
- Alaye, Q. E. A., Alaye, M. H., Chabi, C. (2023). Structural model performance and reinforced pavement technology in unstable location in the south of the Republic of Benin (West Africa). *Natural Hazards Research*, 3 (2), 205–218. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.03.004>
- Colagrande, S., Quaresima, R. (2023). Natural cube stone road pavements: design approach and analysis. *Transportation Research Procedia*, 69, 37–44. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.142>
- Smirnova, O., Kharitonov, A., Belentsov, Y. (2019). Influence of polyolefin fibers on the strength and deformability properties of road pavement concrete. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 6 (4), 407–417. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2017.12.004>
- Karalar, M., Özkılıç, Y. O., Aksoyulu, C., Sabri Sabri, M. M., Beskopylny, A. N., Stel'makh, S. A., Shcherban', E. M. (2022). Flexural behavior of reinforced concrete beams using waste marble powder towards application of sustainable concrete. *Frontiers in Materials*, 9. doi: <https://doi.org/10.3389/fmats.2022.1068791>
- Kumbasaroglu, A., Yalciner, K., Yalciner, H., Turan, A. I., Celik, A. (2021). Effect of polypropylene fibers on the development lengths of reinforcement bars of slabs. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00680. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00680>
- Hussain, I., Ali, B., Akhtar, T., Jameel, M. S., Raza, S. S. (2020). Comparison of mechanical properties of concrete and design thickness of pavement with different types of fiber-reinforcements (steel, glass, and polypropylene). *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00429. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00429>
- Yang, K., Li, R. (2021). Characterization of bonding property in asphalt pavement interlayer: A review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 8 (3), 374–387. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.10.005>
- Suryadi, A., Qomariah, Q., Susilo, S. H. (2022). The effect of the use of recycled coarse aggregate on the performance of self-compacting concrete (SCC) and its application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (116)), 41–47. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255266>
- Santillán, N., Speranza, S., Torrents, J. M., Segura, I. (2022). Evaluation of conductive concrete made with steel slag aggregates. *Construction and Building Materials*, 360, 129515. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129515>
- Srividya, T., Kannan Rajkumar, P. R., Sivasakthi, M., Sujitha, A., Jeyalakshmi, R. (2022). A state-of-the-art on development of geopolymer concrete and its field applications. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e00812. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00812>
- Wang, H., Zhang, W., Zhang, Y., Xu, J. (2022). A bibliometric review on stability and reinforcement of special soil subgrade based on CiteSpace. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 9 (2), 223–243. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.07.005>
- Fang, M., Chen, Y., Deng, Y., Wang, Z., Zhu, M. (2023). Toughness improvement mechanism and evaluation of cement concrete for road pavement: A review. *Journal of Road Engineering*, 3 (2), 125–140. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jreng.2023.01.005>
- Sudjianto, A. T., Halim, A., Gembiranto, O., Susilo, S. H. (2021). Comparison of fly ash with Lapindo mud as a land stabilizer for landfill in Pasuruan–Indonesia. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (111)), 19–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.234518>
- Fattouh, M. S., Tayeh, B. A., Agwa, I. S., Elsayed, E. K. (2023). Improvement in the flexural behaviour of road pavement slab concrete containing steel fibre and silica fume. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e01720. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01720>
- Aldmour, R., Shatarat, N., Abdel-Jaber, M. (2023). Biaxial shear behavior of recycled concrete aggregate reinforced concrete beams. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e02127. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02127>
- Sudjianto, A. T., Suraji, A., Susilo, S. H. (2021). Analysis of soil characteristics on expansive clay stabilization using shell ash. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (6 (114)), 58–64. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245533>
- Shumuye, E. D., Li, W., Fang, G., Wang, Z., Liu, J., Zerfu, K. (2023). Review on the durability of eco-friendly engineering cementitious composite (ECC). *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02324. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02324>
- Amran, M., Fediuk, R., Klyuev, S., Qader, D. N. (2022). Sustainable development of basalt fiber-reinforced high-strength eco-friendly concrete with a modified composite binder. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01550. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01550>
- Bastidas-Martínez, J. G., Reyes-Lizcano, F. A., Rondón-Quintana, H. A. (2022). Use of recycled concrete aggregates in asphalt mixtures for pavements: A review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 9 (5), 725–741. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2022.08.001>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.287791

ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ НЕРІВНОМІРНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ГАЛЬМОВОГО БАШМАКА ВІЗКА ВАНТАЖНОГО ВАГОНА НА ЙОГО МІЦНІСТЬ (с. 6–13)

С. В. Панченко, А. О. Ловська, В. Г. Равлок, А. О. Бабенко, О. В. Дерев'янчук, О. В. Жарова, Я. В. Дерев'янчук

Об'єктом дослідження є процеси виникнення, сприйняття та перерозподілу навантажень в гальмовому башмаку візка вантажного вагона під час гальмування. Для забезпечення безпеки руху вантажних вагонів виконано дослідження нерівномірного навантаження башмака візка моделі 18–100 вантажного вагона. Сформовано математичний апарат для визначення міцності гальмового башмака з урахуванням нерівномірного навантаження, що передається на нього від гальмової колодки. При цьому гальмовий башмак розглянуто у вигляді рами зі змінною жорсткістю. Встановлено, що напруження, які виникають у башмаку, перевищують допустимі. Для апробації запропонованого математичного апарату здійснено комп'ютерне моделювання міцності гальмового башмака. При цьому застосовано метод скінчених елементів, який реалізовано у SolidWorks Simulation. Розбіжність між результатами, отриманими математичним та комп'ютерним моделюванням склала 5,7 %.

Особливістю отриманих у рамках дослідження результатів є те, що вони дозволяють визначити момент опору, а відповідно і напруження, які діють у башмаку за його довжиною. Це дозволить на послідовних етапах створити принципово нову його конструкцію.

Сферою практичного застосування отриманих результатів є машинобудівна галузь, зокрема, залізничний транспорт. Умовами практичного застосування результатів дослідження є забезпечення міцності башмака під час гальмування рухомого складу в експлуатації.

Проведені дослідження сприятимуть створенню напрацювань щодо підвищення надійності роботи гальмових систем візків, а також забезпечення технологічності й ремонтпридатності при виготовленні, експлуатації та ремонті складових механічної частини гальм вантажних вагонів нового покоління.

Ключові слова: вантажний вагон, гальмовий башмак вагона, напружений стан башмака, транспортна механіка, убезпечення руху.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.287673

ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДСИЛЕННЯ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК АРМОВАНИХ ВУГЛЕЦЕВИМИ КОМПОЗИТНИМИ СТЕРЖНЯМИ ТА ПЛАСТИНАМИ (с. 14–22)

С. С. Була, А. Б. Пелех

Дослідження описує результати експериментів з порівняння ефекту конструкційного підсилення для дерев'яних балок, що були підсилені різними вуглецевими композитними матеріалами. Зразки однієї серії підсилювались шляхом наклеювання ззовні на грань балки вуглецевоволоконної пластини. Зразки іншої серії підсилювались шляхом бокового вклеювання всередину балки двох вуглецевоволоконних стержнів.

За програмою досліджень на згин було визначено граничні навантаження та прогини для обох серій. В результаті аналізу результатів і порівняння із непідсиленими зразками із контрольної серії було визначено ефект підсилення балок та модель їх руйнування. Дослідження показали, що ефект зовнішнього підсилення пластиною склав 86,7 % за критерієм повного руйнівного навантаження, 20,5 % за критерієм граничного навантаження, 13,4 % за критерієм граничного прогину. Ефект підсилення стержнями склав 48,6 %, 18,6 % та 4,1 % відповідно. Теоретичний аналіз отриманих результатів показав збіжність до 8,2 % із експериментальними результатами.

Зовнішнє підсилення пластиною в порівнянні з боковим вклеюванням стержнів показало кращі результати завдяки розміщенню пластини в зоні максимальних розтягувальних напружень. Таке розміщення ефективніше обмежувало поширення граничних напружень та розвиток тріщин.

Параметри армування зразків (матеріали, розміщення, відсоток армування) підбиралися з умови однакової теоретично прогнозованої несучої здатності після підсилення. Проте, проведені порівняльні експериментальні дослідження виявили відмінності у процесах деформування та руйнування підсилених балок.

Отримані результати сприятимуть прийняттю раціональних проектних рішень та виборі релевантного способу підсилення дерев'яних балок вуглецевими композитними матеріалами.

Ключові слова: вуглецеві композитні матеріали, згинальна міцність, жорсткість, ефективність підсилення, дерев'яні балки.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289986

РОЗРОБКА МЕТОДИК ПРОЄКТУВАЛЬНОГО ТА ПЕРЕВІРОЧНОГО РОЗРАХУНКІВ БАЛКИ-СТІНКИ ЗІ ЗЛАМОМ КРОМОК ПРИ СТАТИЧНОМУ ТА ЦИКЛІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ (с. 23–33)

В. М. Соков, Л. І. Коростильов, О. В. Щедролоєв, Г. В. Шарун, С. Ю. Клименков

Досліджується тонкостінна стальна балка-стінка зі зломом кромки, яка входить до складу багатьох конструкцій. Стінка цієї балки складається з двох призматичних частин з прямолінійним переходом від меншої висоти стінки до більшої, утворюючи разом з кромками призматичних частин ламану верхню кромку. Нижньою прямолінійною кромкою стінка кріпиться до обшивки.

Балка-стінка зазнає впливу статичних та циклічних номінальних навантажень, які можуть спричинювати появу пружно-пластичних деформацій в концентраторі напружень. Це спричинює невиконання статичної міцності та виникненню і росту втомних тріщин.

В представленій роботі запропоновані методики проєктувального та перевірного розрахунку сталеві балки-стілки зі зломом кромки при пружному статичному та циклічному пружно-пластичному деформуванні в концентраторі напружень. Матеріал балки ідеальний пружно-пластичний.

Особливостями методик є можливість оптимального проєктування в умовах пружного та пружно-пластичного деформування, використовуючи залежності тільки для оптимального пружного проєктування. Відмінною рисою методик є те, що через формулу Нейбера визначаються не пружно-пластичні характеристики за відомими пружними, як зазвичай, а навпаки. За розробленими залежностями для циклічних пружно-пластичних деформацій в концентраторі визначається теоретичний коефіцієнт концентрації, який, в свою чергу, задіяний у визначенні оптимальних геометричних параметрах.

Методики дають надійні результати при номінальних симетричних циклічних навантаженнях до 0,6 від границі плинності. Це пояснюється тим, що формула Нейбера дає завжди консервативні результати, спричинюючи надлишкову міцність.

Методики можуть бути застосовані окремо для розтягу-стиску і згину, і при їх сумісній дії.

Ключові слова: балка-стілка, злам кромки, оптимальне проєктування, малоциклова втомна довговічність, циклічні пружно-пластичні деформації.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.287025

ОСОБЛИВОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВІДІВ ІЗ КОМПОЗИТНИМИ НАКЛАДКАМИ ПРИ СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ (с. 34–42)

Arman Moldagaliyev, Nurlan Zhangabay, Ulanbator Suleimenov, Konstantin Avramov, Talzhan Raimberdiyev, Maryna Chernobrykva, Altynsary Umbitaliyev, Atogali Jumabayev, Shairbek Yeshimbetov

Розглядається процес деформування типової ділянки сталевого магістрального трубопроводу з дефектною зоною, зміцненою композитною накладкою з вуглепластику під дією стаціонарного внутрішнього тиску. Досліджуються дефекти у вигляді потонання товщини труби та тріщини. Аналізується напружено-деформований стан конструкції при критичному тиску. Визначається товщина композитної накладки, коли бандаж компенсує вплив внутрішнього тиску на пошкодженій ділянці трубопроводу. Дослідження проводяться чисельно на основі кінцево-елементного моделювання у програмному комплексі ANSYS.

При дослідженні напружено-деформованого стану труби з дефектом довільної складної форми під дією критичного тиску отримано компенсуюче значення. Результат показав, що накладка з вуглепластику завтовшки на рівні 17 % від номінальної товщини труби дозволяє повністю компенсувати вплив внутрішнього тиску в зоні дефекту. При цьому напруги в накладці з вуглепластику близькі до мінімальних. При дослідженні напружено-деформованого стану труби з великою тріщиною довільної форми при критичному тиску також отримано компенсуюче значення.

Встановлено, що для компенсації концентрації впливу внутрішнього тиску в зоні тріщини товщина композитної накладки повинна бути на рівні 34 % від номінальної товщини труби. При цьому деформування сталеві труби в районі тріщини відбувається у пружній ділянці. Виняток становлять вершини тріщини, де спостерігаються пластичні деформації та виникають напруги до 93 % межі міцності сталі труби. При цьому напруги в накладці з вуглепластику залишаються близькими до мінімальних. Таким чином, рекомендовано використовувати для бандажування пошкоджень, що становлять до 75 % товщини сталеві труби, накладки з вуглепластику завтовшки від 17 % номінальної товщини труби. Для бандажування тріщин рекомендовано використовувати накладки із вуглепластику завтовшки від 34 % номінальної товщини труби.

Ключові слова: сталевий трубопровід, посилення труб, бандаж із вуглепластику, кінцево-елементний аналіз.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289930

ВИЯВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПОВЕДІНКИ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ РЕБРИСТОЇ ПЛИТИ ПРИ ПОЖЕЖІ НА ОСНОВІ ВИЗНАЧЕННЯ ЇЇ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ (с. 43–49)

С. О. Сідней, А. І. Березовський, С. О. Касярум, І. П. Частаколенко

Об'єктом досліджень є вогнестійкість залізобетонних ребристих плит. Предметом досліджень є вплив рівня механічного навантаження на вогнестійкість досліджуваної залізобетонної ребристої плити при впливі пожежі. Зараз проведення оцінювання вогнестійкості таких конструкцій за допомогою табличного методу суттєво обмежено за певними геометричними параметрами цих плит. Зонний метод застосувати також не передбачається можливим, оскільки залізобетонні ребристі плити складаються з компонентів, які отримують тепловий вплив за різними сценаріями та геометричними параметрами, що не враховано у Єврокод 2.

Експериментальні обчислення, що проведені в роботі із використанням уточненого методу за допомогою методу скінчених елементів, дозволяють розв'язати актуальну науково-технічну проблему, пов'язану із визначенням залежності вогнестійкості цих конструкцій від рівня прикладеного навантаження.

Розрахунок поширення температури по залізобетонній ребристій плиті під час впливу стандартного температурного режиму пожежі проводився із застосуванням конвекційного та променистого теплообміну, що рекомендовано Єврокодом 2. При вирішенні механічної задачі застосовувався ітераційний неявний метод Ньютона – Рафсона. Оцінювання вогнестійкості залізобетонних ребристих плит проводилось за настанням ознак граничного стану вогнестійкості за втраченою несучою здатності. За результатами встановлено, що при 100 % рівні навантаження досліджуваної конструкції критичний прогин понад 268 мм та швидкість наростання деформації – понад 18 мм/хв зафіксовані одночасно на 43,9 хв.

За підсумками досліджень встановлена закономірність межі вогнестійкості залізобетонних ребристих плит від рівня прикладеного механічного навантаження. Це дасть можливість проєктувати та будувати будівлі та споруди використовуючи вказані будівельні конструкції із гарантованими класами вогнестійкості, що підвищує рівень безпеки для людей на об'єктах.

Ключові слова: залізобетонні ребристі плити, вогнестійкість, ітераційний метод Ньютона-Рафсона, метод скінчених елементів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.288520

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГАЗУ В РЕЗОНАНСНИХ ТРУБАХ ТА КАНАЛАХ ДВИГУНІВ З ПЕРІОДИЧНИМ РОБОЧИМ ПРОЦЕСОМ МЕТОДОМ ПОРШНЕВОЇ АНАЛОГІЇ (с. 50–69)

О. Е. Хрулев

Досліджується процес течії газу в резонансній трубі двигуна з періодичним робочим процесом. Аналіз різних моделей течії та порівняння відомих даних показали, що залишаються не вирішені до кінця проблеми побудови замкнених 0-мірних моделей робочого циклу для деяких типів двигунів. Відповідно до цього виникає питання про розмірність моделей окремих елементів двигунів, включаючи модель резонансної труби, які необхідно включити в загальну модель циклу, особливо, на початковому етапі її розробки.

Для розв'язання виявлених проблем удосконалено математичну модель течії газу, побудовану на базі аналогії з «рідким» поршнем. На відміну від відомих, модель поршневої аналогії дозволяє розраховувати миттєву швидкість газу, опосередковану за довжиною труби, за допомогою чисельного рішення диференціального рівняння для швидкості.

Для перевірки розробленої моделі обрано альтернативну кінцево-різницеву 1-мірну газодинамічну модель, за допомогою якої виконано тестове моделювання течії повітря в трубі. Встановлено, що поршнева модель дозволяє знайти швидкість течії з точністю до 5 % для перепаду тиску, що змінюється за синусоїдальним законом. Знайдено допустимі межі зміни частоти коливань та довжини труби, при яких поршнева модель має мінімальну помилку порівняно з 1-мірною моделлю.

За результатами дослідження зроблено висновок у тому, що при невеликій масі та інерції рідкого поршня пропонується модель дає результати, близькі до тих, які забезпечують складніші моделі з вищою розмірністю. Це вказує на можливість застосування поршневої моделі елементів типу труб у складі 0-мірної термодинамічної моделі двигунів з періодичним робочим процесом як наближену альтернативу традиційним 1-мірним моделям течії.

Ключові слова: пульсуючий двигун, резонансна труба, моделювання течії, метод «рідкого» поршня, поршнева аналогія.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.288548

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЧАСТИНКИ ПОХИЛИМ ШНЕКОМ, ЯКИЙ ОБЕРТАЄТЬСЯ В НЕРУХОМОМУ КОЖУСІ (с. 60–69)

Т. М. Волина, С. Ф. Пилипака, М. В. Каленик, С. С. Денсєжніков, В. М. Несвідомін, І. Ю. Грищенко, Я. О. Литвиненко, А. С. Бородай, Д. С. Бородай, Я. О. Бородай

Гвинтові транспортери використовуються для переміщення сипких матеріалів вертикально вгору, в горизонтальному напрямі, а також під кутом до горизонту. Вивченими є процеси, які відбуваються при переміщенні частинки шнековим транспортером у вертикальному і горизонтальному напрямках. Між ними є суттєва різниця: для транспортування у вертикальному напрямі потрібно забезпечити необхідні умови (достатню кутову швидкість обертання шнека), а при горизонтальному транспортуванні переміщення частинки відбувається при будь-якій кутовій швидкості обертання шнека. Отже, при зміні нахилу осі шнека настає момент, коли транспортування стає можливим, тоді як воно було неможливим у вертикальному напрямі.

У статті розглянуто рух частинки за умови, що вона одночасно контактує з двома поверхнями: рухомою поверхнею шнека і нерухомою поверхнею циліндричного кожуха, у якому обертається шнек. Їх спільною лінією, по якій ковзає частинка, є гвинтова лінія – периферія шнека. Частинка ковзає по гвинтовій лінії шнека, який обертається, тобто по відношенню до нього вона перебуває у відносному русі. Одночасно вона ковзає і по поверхні кожуха, по відношенню до якого вона перебуває в абсолютному русі. Траєкторією абсолютного руху частинки є її слід ковзання на поверхні кожуха.

При складанні диференціальних рівнянь відносного руху частинки враховувалися прикладені до частинки сили. За початкове положення було прийнято вертикальний напрям шнека для транспортування частинки вгору. Якщо шнек у циліндричному кожусі нахилити від вертикального напрямку на певний кут, то і всі прикладені сили (окрім сили ваги) теж будуть нахилитися на цей кут. На основі цього складено узагальнені диференціальні рівняння відносного руху частинки при її транспортуванні похилим шнеком. Вони дали можливість отримати узагальнену математичну модель переміщення частинки похилим шнеком, який обертається всередині нерухомого кожуха.

Ключові слова: прикладені до частинки сили, диференціальні рівняння руху, циліндричний кожух, кут нахилу шнека.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.290029

РОЗРОБКА ДИСКРЕТНО-БЕЗПЕРЕРВНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ УДАРНОГО ПРИСТРОЮ З ПАРАМЕТРАМИ ВПЛИВУ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ УДАРНОГО ІМПУЛЬСУ (с. 70–79)

В. М. Сліденко, О. М. Сліденко, Л. Р. Марчук, В. О. Бут

Наведено дослідження моделі дискретно-безперервного типу ударного пристрою в фазі передачі енергії при співударі бойка та інструменту. Пристрій застосовується для руйнування гірських порід, у будівельній техніці, та у нафтовидобувній промисловості. В математичній моделі інструмент представлений стержнем змінного профілю, а боек – дискретним елементом із зведеною масою. Ударна взаємодія моделюється наявністю жорстких та дисипативних зв'язків. Рух взаємодіючих елементів ударного пристрою описується системою диференціальних рівнянь, пов'язаних крайовими та початковими умовами. Модель дозволяє визначити параметри впливу на характеристику ударного імпульсу при змінному опорі робочого середовища. Сила співудару дискретного елемента та контактного торця стержня представлена у вигляді степеневі залежності від різниці переміщень контактуючих елементів. Для вирішення початково-крайової задачі застосовано метод скінченних різниць. Параметри різницевої схеми визначались за допомогою модельних задач і склали: крок за часом (1, ..., 5)·10⁻⁵ с; крок за довжиною – (0.1...0.3) від довжини інструменту, а для змішаної схеми –

в межах 0,5...0,8. Встановлено, що час співудару бойка та інструменту, в залежності від коефіцієнта жорсткості, становив 200...300 мкс. При величині навантаження силою до 90 кН в часовому діапазоні 0...4 мс, нормальні напруження в перерізах інструменту в різні моменти часу склали 200...250 МПа. Комбінація дискретного та неперервного елементів спрощують розрахункову схему та дозволяють визначити розподіл силових характеристик в поперечних перетинах інструменту, силу і час співудару, вплив робочого середовища на ці параметри. Розроблена модель може бути використана при проектуванні ударних пристроїв та оптимізації їх параметрів.

Ключові слова: ударний пристрій, дискретно-безперервна модель, сила співудару, крайові умови, дисипативний опір.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289232

ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОЦІНКА ПОРОЖНИСТИХ РАМНИХ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ РОЗРОБКИ МІСЬКИХ ДВОМІСНИХ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ (с. 80–86)

Muhammad Hidayat Tullah, Danardono Agus Sumarsono, Iwan Susanto, Fuad Zainuri, Sonki Prasetya, Rahmat Noval, Sulaksana Permana, Bayu Dwi Aprianto

Дана робота присвячена проектуванню та оцінці порожнистих рамних конструкцій для розробки двомісних електромобілів, призначених для міського використання. Основною проблемою є відсутність цілеспрямованих досліджень щодо розробки ефективних, легких та безпечних рамних конструкцій електромобілів, особливо для потреб міського транспорту. За допомогою 3D-моделювання та аналізу методом скінченних елементів (FEA) у роботі успішно розроблено порожнисту рамну конструкцію з розмірами 2148×800×640 мм і вагою 40,77 кг, що відповідає критеріям міцності та жорсткості. Аналіз показує, що конструкція має достатній запас міцності з коефіцієнтом запасу 2,053 e+01. В якості матеріалу обрана сталь ASTM A36, що забезпечує баланс міцності, жорсткості і вартості. Отримані результати пропонують інноваційне та практичне рішення проблем міського транспорту з широким потенціалом застосування в області електромобілів. Зокрема, дослідження спрямоване на спеціалізовані потреби міських двомісних електромобілів. Використовуваний аналіз скінченних елементів (FEA) служить надійним методом перевірки, ефективно зменшуючи потребу у великих фізичних випробуваннях. Це дозволяє прискорити процес НДДКР та відкриває можливості для майбутніх досліджень альтернативних матеріалів та умов динамічного навантаження. Також обговорюються обмеження дослідження та напрямки майбутніх досліджень. Більше того, обчислювальні методи дослідження пропонують екологічну альтернативу традиційним фізичним прототипам. Це узгоджується з цілями сталого розвитку та надає методологію для майбутніх досліджень. Зі зростанням чисельності міського населення збільшується попит на ефективні транспортні засоби. Дане дослідження прокладає шлях до створення міських двомісних електромобілів, що відповідають сучасним міським потребам та цілям сталого розвитку.

Ключові слова: електромобілі, порожнисті рамні конструкції, міський транспорт.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.290035

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ КОЕФІЦІЕНТУ АРМУВАННЯ НА ПОВЕДІНКУ ТРІЩИННОСТІ ЖОРСТКОГО ПОКРИТТЯ (с. 87–94)

Agoes Soehardjono, Ari Wibowo, Devi Nuralinah, Candra Aditya

Проблема багатьох твердих бетонних плит полягає у появі тріщин. Дослідження ширини тріщин у жорсткому покритті через вплив коефіцієнта армування є необхідним, оскільки жорсткість і міцність бетонних плит пов'язані з товщиною плити, якістю бетону, якістю арматурної сталі та кількістю арматури. Це дослідження має на меті експериментально визначити характер розтріскування жорстких дорожніх покриттів, які зазнають монотонних статичних лінійних навантажень через варіації коефіцієнта армування. Зразки, випробувані в лабораторії, являли собою бетонні плити розміром 2×0,6×0,2 м, розміщені на ґрунті товщиною 30 см із значенням СВР 6 % як опору. Варіація коефіцієнта армування складала $\rho=0,004$; $\rho=0,007$; $\rho=0,01$; $\rho=0,02$. Якість бетону $f_c=30$ МПа, якість сталі $f_u=580$ МПа. Результати показують, що при малих коефіцієнтах армування результати близькі до середньої ширини тріщини у формулі з нормативних документів, а при великих коефіцієнтах армування результати ще далі від середньої ширини тріщини на основі формули в нормативних актах. Найбільша ширина тріщини, яка спостерігалася в цьому дослідженні, виникла в жорсткому тротуарі з коефіцієнтом армування $\rho=0,004$, під навантаженням 210 кН, що призвело до ширини тріщини 0,519 мм. Було виявлено, що залежність між шириною тріщини та коефіцієнтом армування відповідає лінійному рівнянню для всіх варіацій. Дослідження також виявило варіації ширини тріщини між експериментами, проведеними за різними кодами проектування, при цьому результати тісно збігалися із середньою шириною тріщини, визначеною за формулами на основі правил, особливо для малого коефіцієнта армування ($\rho=0,004$). І навпаки, для більшого коефіцієнта армування ($\rho=0,01$) результати ще більше відхилялися від ширини тріщини, передбаченої формулою на основі коду.

Ключові слова: коефіцієнт армування, розтріскування, ширина тріщини, жорстке покриття, бетон, навантаження.