

ABSTRACT AND REFERENCES

APPLIED MECHANICS

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.338165

APPLYING MATHEMATICAL MODELING TO DETERMINE THE EFFICIENCY OF REINFORCING BRICK COLUMNS IN THE BUILT-IN CIVIL DEFENSE STRUCTURES WITH STEEL CAGES (p. 6–14)**Anton Hasenko**National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,
Poltava, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1045-8077>**Dmytro Usenko**National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,
Poltava, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7133-0638>**Pavlo Semko**National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,
Poltava, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5915-3082>**Dmytro Ovsii**National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,
Poltava, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7007-1857>

This study's object is brick structures for multi-story residential construction. In such buildings it is necessary to arrange built-in protective structures for civil defense. As a result of prolonged temperature and humidity exposure, wetting and destruction of brickwork may occur. Solving this problem requires devising measures to isolate brickwork from external influences, as well as, if necessary, options for strengthening damaged structures.

One of the results of this work is the identification of principal damage based on analysis of the consequences of prolonged temperature and humidity exposure to complexly loaded brick structures (walls, partitions, columns) of a public facility. This is frost-related damage up to 40% of the initial cross-section, which is mainly associated with different porosity of the brick and the influence of atmospheric precipitation.

The next result of the work is proposals for increasing the bearing capacity of damaged brickwork using tie clips from rolled steel elements. A qualitative feature of the proposal is the recommendations for installing these clips, which allow them to be included in joint work with existing brick elements. This qualitative distinctive feature was confirmed by mathematical numerical modeling of the increase in the bearing capacity of reinforcement brick structures.

From a scientific perspective, different initial stress-strain states of brick structures and steel elements at the time of ensuring their joint operation were taken into account. After the installation of steel clips, the maximum compressive stresses in the brickwork decreased by 28.6%. The results could be applied when installing reinforcements with steel clips for damaged compressed brick structures.

Keywords: protective structures, brick columns, frost damage, reinforcement, modeling, finite elements.

References

1. Kristinayanti, W. S., Zaika, Y., Devia, Y. P., Solimun, S., Wibowo, M. A. (2024). Enhancing sustainable performance with green construction based on local wisdom through implementation strategy as a mediating variable. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (13 (132)), 19–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.312522>

2. Usenko, D., Dovzhenko, O., Pohribnyi, V., Zyma, O. (2020). Masonry strengthening under the combined action of vertical and horizontal forces. *Proceedings of the 2020 session of the 13th fib International PhD Symposium in Civil Engineering*, 193–199. Available at: https://phdsymp2020.sciencesconf.org/data/pages/Proceedings_phdsymp_2021.pdf
3. Yao, X., Liang, B., Zhang, H., Zhang, Z., He, Z. (2021). Typical brick masonry walls reinforced with high-strength mortar and steel bars in the horizontal joints. *Advances in Structural Engineering*, 24 (12), 2767–2779. <https://doi.org/10.1177/13694332211012238>
4. Usenko, V., Chernikov, O., Usenko, D., Pinchuk, N., Usenko, I., Byba, V. (2025). Safety parameters analysis for assessing the stone structures' strength. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1499 (1), 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1499/1/012028>
5. Gupta, A., Singhal, V. (2020). Strengthening of Confined Masonry Structures for In-plane Loads: a Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 936 (1), 012031. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/936/1/012031>
6. Semko, O., Hasenko, A. (2021). Classification of Self-stressed Steel-Concrete Composite Structures. *Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations*, 367–374. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_34
7. Ospanov, A., Timurbekova, A., Zhalelov, D. (2024). Mathematical modeling of the melt flow in the cone-ring channel of the extruder matrix. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (127)), 83–98. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.290692>
8. Widyianto, A., Arrozi, W., Sampurno, Y. G., Paryanto, P., Widowati, A., Aminatun, T., Sunarta, S. (2025). Development of a mobile hydraulic press machine using finite element analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (133)), 76–89. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.316584>
9. Sidnei, S., Berezovskyi, A., Kasiarum, S., Lytvynenko, O., Chastokolenko, I. (2023). Revealing patterns in the behavior of a reinforced concrete slab in fire based on determining its stressed and deformed state. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (125)), 43–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289930>
10. Sidnei, S., Gonchar, S., Zhuravskij, M., Matsyk, I., Nozhko, I., Petukhova, O. et al. (2024). Defining a pattern in the loss of integrity by ribbed plates under fire conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (131)), 15–24. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.313935>
11. Yurchenko, V., Peleshko, I., Rusyn, P. (2024). Optimization of cross-sectional dimensions of castellated beams with hexagonal openings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (129)), 6–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304803>
12. Galinska, T., Ovsii, D., Ovsii, A. (2021). Flexural Strength of Steel-Reinforced Concrete Composite Structural Span Elements. *Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations*, 131–145. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_13

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.335175

DETERMINING THE LOAD ON THE BEARING STRUCTURE OF A FLAT WAGON FOR LONG CARGO IN RAIL-FERRY TRANSPORTATION (p. 15–22)**Alyona Lovska**

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine

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

Andrii Okorokov

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3111-5519>

Arsen Muradian

Odessa National Maritime University, Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6488-6627>

Valentyna Romakh

Odessa National Maritime University, Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3958-0041>

Tetiana Bolvanovska

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6462-8524>

This study's object is the processes of perception and redistribution of loads in the supporting structure of a flat wagon for long-length cargo during rail-ferry transportation. The task addressed is to adapt a universal flat wagon for transporting long-length cargo. In this case, it is proposed to improve the structure of a flat wagon by equipping it with frame-type side walls reinforced with sandwich panels.

The proposed technical advancement was substantiated by mathematical modeling of the dynamic loading of the flat wagon during transportation by rail ferry. The calculation results established that the proposed improvement contributes to a reduction in the dynamic loading of a flat wagon's supporting structure by 15% compared to the typical structure. The findings were confirmed by computer simulation. The results of calculating the strength of a flat wagon's supporting structure established that its strength is ensured.

A special feature of the technical advancement is that it does not require intervening in the basic concept of a flat wagon's supporting structure since the side walls are removable.

The scope of practical application of the research results is railroad transport. The practical use of the findings is subject to the absence of a natural degree of freedom of the side wall frame.

The results of this study will contribute to improving the efficiency of railroad transport operation, including international traffic. The results could also prove useful for designing modern car structures with improved technical and operational characteristics.

Keywords: railroad transport, flat wagon, design improvement, structural loading, structural strength, railroad-ferry transportation.

References

- Dizo, J., Blatnický, M. (2019). Evaluation of Vibrational Properties of a Three-wheeled Vehicle in Terms of Comfort. *Manufacturing Technology*, 19 (2), 197–203. <https://doi.org/10.21062/ujep/269.2019/a/1213-2489/mt/19/2/197>
- Steišūnas, S., Dižo, J., Bureika, G., Žuraulis, V. (2017). Examination of Vertical Dynamics of Passenger Car with Wheel Flat Considering Suspension Parameters. *Procedia Engineering*, 187, 235–241. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.370>
- Stoilov, V., Slavchev, S., Maznichki, V., Purgic, S. (2023). Method for Theoretical Assessment of Safety against Derailment of New Freight Wagons. *Applied Sciences*, 13 (23), 12698. <https://doi.org/10.3390/app132312698>
- Koshel, O., Sapronova, S., Kara, S. (2023). Revealing patterns in the stressed-strained state of load-bearing structures in special rolling stock to further improve them. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (7 (124)), 30–42. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.285894>
- Čižiūnienė, K., Matijošius, J., Sokolovskij, E., Balevičiūtė, J. (2024). Assessment of Implementing Green Logistics Principles in Railway Transport: The Case of Lithuania. *Sustainability*, 16 (7), 2716. <https://doi.org/10.3390/su16072716>
- Vatulia, G., Lovska, A., Pavliuchenkov, M., Nerubatskyi, V., Okorokov, A., Hordiienko, D. et al. (2022). Determining patterns of vertical load on the prototype of a removable module for long-size cargoes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (120)), 21–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266855>
- Silva, R., Ribeiro, D., Bragança, C., Costa, C., Arêde, A., Calçada, R. (2021). Model Updating of a Freight Wagon Based on Dynamic Tests under Different Loading Scenarios. *Applied Sciences*, 11 (22), 10691. <https://doi.org/10.3390/app112210691>
- Fedosov-Nikonov, D. V., Sulym, A. O., Ilchysyn, V. V., Safronov, O. M., Kelrikh, M. B. (2020). Study of strength characteristics of the long wheel-base flat cars. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 985 (1), 012029. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/985/1/012029>
- Sulym, A., Orlov, O. (2022). Experimental studies of the strength of a long base flat wagons by carrying out endurance cyclic fatigue tests. *Collection of Scientific Works of the State University of Infrastructure and Technologies Series "Transport Systems and Technologies,"* 1 (40), 139–148. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-12>
- Gerlici, J., Lovska, A., Kozáková, K. (2025). Research into the Longitudinal Loading of an Improved Load-Bearing Structure of a Flat Car for Container Transportation. *Designs*, 9 (1), 12. <https://doi.org/10.3390/designs9010012>
- Štastniak, P., Kurčík, P., Pavlík, A. (2018). Design of a new railway wagon for intermodal transport with the adaptable loading platform. *MATEC Web of Conferences*, 235, 00030. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823500030>
- Wiesław, K., Tadeusz, N., Michał, S. (2016). Innovative Project of Prototype Railway Wagon and Intermodal Transport System. *Transportation Research Procedia*, 14, 615–624. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.307>
- Lovska, A., Nerubatskyi, V., Plakhtii, O., Myamlin, S. (2024). Situational adaptation of the model 13-7024 flat car for transporting strategic cargo. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (128)), 38–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.299537>
- Gerlici, J., Lovska, A., Pavliuchenkov, M. (2024). Study of the Dynamics and Strength of the Detachable Module for Long Cargoes under Asymmetric Loading Diagrams. *Applied Sciences*, 14 (8), 3211. <https://doi.org/10.3390/app14083211>
- Gerlici, J., Lovska, A., Vatulia, G., Pavliuchenkov, M., Kravchenko, O., Solčanský, S. (2023). Situational Adaptation of the Open Wagon Body to Container Transportation. *Applied Sciences*, 13 (15), 8605. <https://doi.org/10.3390/app13158605>
- Bohach, I. V., Krakovetskyi, O. Yu., Krylyk, L. V. (2020). Chyselni metody rozvazannia dyferentsialnykh rivnian zasobamy MathCad. *Vinnytsia*, 106. Available at: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/Bogach_2020_106.pdf
- Siasiev, A. V. (2004). Vstup do systemy MathCad. *Dnipropetrovsk*, 108. Available at: https://mmf.dnu.dp.ua/wp-content/uploads/2020/01/mathcad_sayt.pdf
- Dižo, J., Blatnický, M., Harušinec, J., Suchánek, A. (2022). Assessment of Dynamics of a Rail Vehicle in Terms of Running Properties While Moving on a Real Track Model. *Symmetry*, 14 (3), 536. <https://doi.org/10.3390/sym14030536>
- Soukup, J., Skočilas, J., Skočilasová, B., Dižo, J. (2017). Vertical Vibration of Two Axle Railway Vehicle. *Procedia Engineering*, 177, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.178>
- Panchenko, S., Gerlici, J., Vatulia, G., Lovska, A., Ravlyuk, V., Harušinec, J. (2023). Studying the load of composite brake pads under high-temperature impact from the rolling surface of wheels. *EURE-*

KA: Physics and Engineering, 4, 155–167. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.002994>

21. Caban, J., Nieoczym, A., Gardyński, L. (2021). Strength analysis of a container semi-truck frame. *Engineering Failure Analysis*, 127, 105487. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105487>
22. Rudenko, V. M. (2021). *Matematychna statystyka*. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury, 304.
23. Golovanevskiy, V., Kondratiev, A. (2021). Elastic Properties of Steel-Cord Rubber Conveyor Belt. *Experimental Techniques*, 45 (2), 217–226. <https://doi.org/10.1007/s40799-021-00439-3>
24. Zaripov, R., Gavrilovs, P. (2021). Mechanical connection of metal structures in wagon buildings. 20th International Scientific Conference Engineering for Rural Development Proceedings, 20. <https://doi.org/10.22616/erdev.2021.20.tf129>
25. Lovska, A., Gerlici, J., Dižo, J., Ishchuk, V. (2023). The Strength of Rail Vehicles Transported by a Ferry Considering the Influence of Sea Waves on Its Hull. *Sensors*, 24 (1), 183. <https://doi.org/10.3390/s24010183>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337849

SUBSTANTIATING THE OPTIMAL SHAPE OF A BIMETAL FLYWHEEL (p. 23–31)

Sergey Ryagin

National University “Zaporizhzhia Polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2888-8270>

Roman Onyshchenko

National University “Zaporizhzhia Polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3453-4089>

Volodymyr Shevchenko

National University “Zaporizhzhia Polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9037-6367>

Serhii Shumykin

National University “Zaporizhzhia Polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3407-2507>

This study’s object is the flywheel as an energy storage device. The task addressed is to devise a sequential approach to flywheel shape optimization.

The analytical basis of flywheel shape optimization has been reconstructed to reveal the source of contradictory results. It was found that the product of radius and angular velocity of rotation is a constant that depends on material properties for the ring-shaped disk flywheel. It becomes somewhat more complicated for other flywheel shapes. It is the reason for the contradictions in the flywheel shape optimization results reported by researchers.

Comparative calculations for several flywheel shapes have been performed using the finite element method. The results confirmed that bringing material closer to the axis of rotation, including Laval disk shape, does not give any advantages. Material choice has an essential advantage in comparison with shape optimization. The flywheel shape has to be optimized together with the material. A ring-shaped disk flywheel is a good starting point for flywheel shape optimization. The results are attributed to the nature of the flywheel material behavior under the action of inertia forces.

A novel approach to combining different materials in flywheel construction has been proposed. One material (high-strength steel) was used for the flywheel ring. Another material with a lower elastic modulus (high-strength aluminum alloy) was used for elements con-

necting the ring with the shaft. The bimetal flywheel has a mass three times less than the base variant, with 24.6% underload for steel parts and 17.3% underload for aluminum parts.

The findings reported here could be practically implemented in the design and manufacturing of flywheel energy storage systems with increased specific energy for use in vehicles and stationary power units.

Keywords: flywheel shape optimization, specific energy, bimetal structure, finite element method.

References

1. Amiryar, M., Pullen, K. (2017). A Review of Flywheel Energy Storage System Technologies and Their Applications. *Applied Sciences*, 7 (3), 286. <https://doi.org/10.3390/app7030286>
2. Kale, V., Thomas, M., Secanell, M. (2021). On determining the optimal shape, speed, and size of metal flywheel rotors with maximum kinetic energy. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 64 (3), 1481–1499. <https://doi.org/10.1007/s00158-021-02935-x>
3. Coppede, D., da Silva Bortoli, F., Moreira, J. M. L., Magalhaes, N. S., Frajuca, C. (2024). Optimization of Flywheel Rotor Energy and Stability Using Finite Element Modelling. *Energies*, 17 (12), 3042. <https://doi.org/10.3390/en17123042>
4. Surwade, P. B. (2017). Design, analysis and optimization of flywheel. *Spvryan’s International Journal of Engineering Sciences & Technology (SEST)*, 3 (4), 1–9. Available at: <https://www.spvryan.org/archive/Issue3Volume4/18.pdf>
5. Jiang, L., Wu, C. W. (2016). Topology optimization of energy storage flywheel. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 55 (5), 1917–1925. <https://doi.org/10.1007/s00158-016-1576-1>
6. Rufer, A. (2017). *Energy Storage*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b22265>
7. Singh, P., Chaudhary, H. (2018). Optimal design of the flywheel using nature inspired optimization algorithms. *Open Agriculture*, 3 (1), 490–499. <https://doi.org/10.1515/opag-2018-0054>
8. Bhosale, P., Zawar, U. (2022). Shape optimization of flywheel used in agricultural thresher. *arXiv*. <http://dx.doi.org/10.48550/arXiv.2209.02392>
9. Kress, G. R. (2000). Shape optimization of a flywheel. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 19 (1), 74–81. <https://doi.org/10.1007/s001580050087>
10. Różewicz, M. (2014). Shape optimization of a flywheel. *Automatyka/Automatics*, 18 (1), 23. <https://doi.org/10.7494/automat.2014.18.1.23>
11. Jaison, A. A. I., Karuppasamy, K. (2015). Design and optimization of flywheel for automobile applications. *International Journal of Mechanical Engineering and Research*, 5 (1), 7–13. Available at: https://www.ripublication.com/ijmer_spl/ijmaerv5n1spl_02.pdf
12. Pysarenko, H. S., Kvitka, O. L., Umanskyi, E. S. (1993). *Opir materialiv*. Kyiv: Vyshcha shkola, 655.
13. Li, X., Mittelstedt, C., Binder, A. (2022). Ein Überblick über kritische Aspekte bei der Konstruktion von Leichtbau-Schwungradrotoren mit Verbundwerkstoffen. *E & i Elektrotechnik Und Informationstechnik*, 139 (2), 204–221. <https://doi.org/10.1007/s00502-022-01005-4>
14. Dems, K., Turant, J. (2009). Two approaches to the optimal design of composite flywheels. *Engineering Optimization*, 41 (4), 351–363. <https://doi.org/10.1080/03052150802506521>
15. Tzeng, J., Emerson, R., Moy, P. (2006). Composite flywheels for energy storage. *Composites Science and Technology*, 66 (14), 2520–2527. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2006.01.025>
16. Arnold, S. M., Saleeb, A. F., Al-Zoubi, N. R. (2001). Deformation and life analysis of composite flywheel disk and multi-disk systems (NASA/TM-2001-210578). Glenn Research Center. Available at: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20010047395/downloads/20010047395.pdf>

17. Yangoz, C., Erhan, K. (2025). High-Speed Kinetic Energy Storage System Development and ANSYS Analysis of Hybrid Multi-Layered Rotor Structure. *Applied Sciences*, 15 (10), 5759. <https://doi.org/10.3390/app15105759>
18. Chen, H. L., Zhu, C. S., Ye, P. (2014). A Comparison of Analysis Flywheel Stress Distributions Based on Different Material. *Applied Mechanics and Materials*, 536-537, 1291–1294. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.536-537.1291>
19. Gulia, N. V. (2005). Superflywheels of supercarbon. *The Inventor-Rationalizer*, 12 (672). Available at: <http://www.t-library.net/read.php?mode=image&id=6638&file=6760&page=15>
20. Wang, P., Gu, T., Sun, B., Liu, R., Zhang, T., Yang, J. (2022). Design and Performance Analysis of Super Highspeed Flywheel Rotor for Electric Vehicle. *World Electric Vehicle Journal*, 13 (8), 147. <https://doi.org/10.3390/wevj13080147>
21. Steel and alloy guide. Available at: https://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=170

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337172

EVALUATION OF DEFORMATION CHARACTERISTICS AND BEARING CAPACITY ASSESSMENT OF CRUSHED-ROCK BACKFILL WITH VARIOUS GRAIN SIZE DISTRIBUTIONS (p. 32–41)

Daria Chepiga

Donetsk National Technical University, Drohobych, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3331-9128>

Oleksandr Tkachuk

Structural Unit "Elektroremont" of PJSC "Donbasenergo",
Mykolaivka, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3129-2275>

Leonid Bachurin

Donetsk National Technical University, Drohobych, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2513-7284>

Yaroslava Bachurina

Donetsk National Technical University, Drohobych, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6964-040X>

Yevgen Podkopaev

LLC MC ELTEKO, Kostyantynivka, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2217-3017>

Anatolii Bielikov

SEI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering
and Architecture", Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5822-9682>

Olena Visyn

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2361-6708>

Serhii Podkopaiev

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6051-4719>

Larysa Bondarchuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3954-9231>

Igor Androshchuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3779-6896>

This study addresses issues related to deformation processes in crushed rock backfills, which are used to control the condition of surrounding rocks in the extraction areas of coal mines.

The task under consideration is to maintain mine roadway stability by preventing roof collapses in the gob area by ensuring the bearing capacity of backfills.

Deformation processes were studied on model materials made of crushed rock of various grain-size distributions and bulk densities. The material was subjected to compression testing, which simulated the complete backfilling of the gob area. It was shown that the energy characteristics of deformation and compaction of crushed rock determine the bearing capacity of backfills. The deformation energy density was determined by the grain-size distribution of the crushed rock with a polyfractional composition. The maximum values of the specific potential deformation energy were recorded during compression of crushed rock with a coefficient of uniformity $C_u = 5.99$, which has a stiffness 7–13% higher than that of polyfractional materials with $C_u < 4$, which ensures the bearing capacity of the backfill mass. It was established that with an increase in the compaction coefficient of the backfill material, the relative volume change per unit of convergence, ΔV_K (m^{-1}), occurs according to a hyperbolic relationship, allowing the prediction of the ultimate compaction of the backfill material.

The stability of gob-side retained entries can be ensured by complete gob backfilling. The expected settlement of the backfill material determines the nature of the limitation of lateral rock movements in the gob area, the bearing capacity of the artificial massif, and depends on the grain-size distribution of the crushed rock.

Keywords: grain-size distribution, crushed rock, compressive compaction, complete backfilling of the gob area.

References

1. Feng, X., Zhang, N., Gong, L., Xue, F., Zheng, X. (2015). Application of a Backfilling Method in Coal Mining to Realise an Ecologically Sensitive "Black Gold" Industry. *Energies*, 8 (5), 3628–3639. <https://doi.org/10.3390/en8053628>
2. Kuzyk, I. (2012). Vplyv porodnykh vidvaliv shakht na komponenty dovkillia ta vyznachennia mozhlyvosti shchodo yoho zmenshennia. *Ekolohiya i pryrodokorystuvannia*, 15, 23–37.
3. Maydukov, G. (2007). Kompleksnoe ispol'zovanie ugol'nykh mestorozhdeniy Donbassa kak osnova ekologicheskoy bezopasnosti i energosberezheniya v regione. *Ekonomichnyi visnyk Donbasu*, 4 (10), 12–19.
4. Zhou, N., Zhang, J., Yan, H., Li, M. (2017). Deformation Behavior of Hard Roofs in Solid Backfill Coal Mining Using Physical Models. *Energies*, 10 (4), 557. <https://doi.org/10.3390/en10040557>
5. Zhang, J., Zhou, N., Huang, Y., Zhang, Q. (2011). Impact law of the bulk ratio of backfilling body to overlying strata movement in fully mechanized backfilling mining. *Journal of Mining Science*, 47 (1), 73–84. <https://doi.org/10.1134/s1062739147010096>
6. Smoliński, A., Malashkevych, D., Petlovanyi, M., Rysbekov, K., Lozynskyi, V., Sai, K. (2022). Research into Impact of Leaving Waste Rocks in the Mined-Out Space on the Geomechanical State of the Rock Mass Surrounding the Longwall Face. *Energies*, 15 (24), 9522. <https://doi.org/10.3390/en15249522>
7. Podkopaiev, S., Gogo, V., Yefremov, I., Kipko, O., Iordanov, I., Simonova, Y. (2019). Phenomena of stability of the coal seam roof with a yielding support. *Mining of Mineral Deposits*, 13 (4), 28–41. <https://doi.org/10.33271/mining13.04.028>
8. Karfakis, M. G., Bowman, C. H., Topuz, E. (1996). Characterization of coal-mine refuse as backfilling material. *Geotechnical and Geological Engineering*, 14 (2), 129–150. <https://doi.org/10.1007/bf00430273>
9. Li, M., Zhang, J. X., Miao, X. X. (2014). Experimental investigation on compaction properties of solid backfill materials. *Mining Technology*, 123 (4), 193–198. <https://doi.org/10.1179/1743286314y.00000000066>

10. Jiang, H., Cao, Y., Huang, P., Fang, K., Li, B. (2015). Characterisation of coal-mine waste in solid backfill mining in China. *Mining Technology*, 124 (1), 56–63. <https://doi.org/10.1179/1743286315y.0000000002>
11. Petlovanyi, M., Malashkevych, D., Sai, K., Bulat, I., Popovych, V. (2021). Granulometric composition research of mine rocks as a material for backfilling the mined-out area in coal mines. *Mining of Mineral Deposits*, 15 (4), 122–129. <https://doi.org/10.33271/mining15.04.122>
12. Bachurin, L. L., Iordanov, I. V., Simonova, Yu. I., Korol, A. V., Podkopaiev, Ye. S., Kaiun, O. P. (2020). Experimental studies of the deformation characteristics of filling massifs. *Technical Engineering*, 2 (86), 136–149. [https://doi.org/10.26642/ten-2020-2\(86\)-136-149](https://doi.org/10.26642/ten-2020-2(86)-136-149)
13. Pappas, D. M., Mark, C. (1993). Behavior of simulated longwall gob material. Report of Investigations. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Deno-Pappas-2/publication/255084112_Behavior_of_simulated_longwall_gob_material_Report_of_Investigations1993/links/58c6081da6fdcce648e8ba4d/Behavior-of-simulated-longwall-gob-material-Report-of-Investigations-1993.pdf
14. Salamon, M. D. G. (2020). Mechanism of caving in longwall coal mining. *Rock Mechanics Contributions and Challenges: Proceedings of the 31st U.S. Symposium*, 161–168. <https://doi.org/10.1201/9781003078944-26>
15. Zhang, J. X., Huang, Y. L., Li, M., Zhang, Q., Liu, Z. (2014). Test on mechanical properties of solid backfill materials. *Materials Research Innovations*, 18, S2-960-S2-965. <https://doi.org/10.1179/1432891714z.000000000510>
16. Zhang, Q., Zhang, J., Han, X., Ju, F., Tai, Y., Li, M. (2016). Theoretical research on mass ratio in solid backfill coal mining. *Environmental Earth Sciences*, 75 (7). <https://doi.org/10.1007/s12665-015-5234-5>
17. Malashkevych, D. S. (2021). Rozrobka tekhnolohichnykh skhem selektyvnoho vidpratsiuvannia plastiv iz zalyshenniam porody u vyroblenomomu prostori (na prykladi shakht Zakhidnoho Donbasu). Dnipro: LizunovPres, 189.
18. Tkachuk, O., Chepiga, D., Bachurin, L., Podkopaiev, S., Bachurina, Y., Podkopaiev, Y. et al. (2025). Assessment of deformation processes in backfill masses using crushed rock models. *Technology Audit and Production Reserves*, 4 (1 (84)), 50–57. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.333869>
19. Glushikhin, F. P., Zlotnikov, M. S. (1978). *Ekvivalentnye materialy dlya modelirovaniya gornogo davleniya*. Moscow: TSNIEIugol', 34.
20. Sadd, M. H. (2009). *Elasticity*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374446-3.x0001-6>
21. Chepiga, D., Polii, D., Podkopaiev, S., Bachurin, L., Bielikov, A., Slashchov, I. et al. (2025). Evaluating the stiffness of a cast strip for protecting a preparatory mine working. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (134)), 40–50. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.324548>
22. DSTU B V.2.1-4-96. *Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Metody laboratornoho vyznachennia kharakterystyk mitsnosti i deformovanosti*. Kyiv. Available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=4905

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.338165

ВИЗНАЧЕННЯ МАТЕМАТИЧНИМ МОДЕЛЮВАННЯМ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДСИЛЕННЯ СТАЛЕВИМИ ОБОЙМАМИ ЦЕГЛЯНИХ КОЛОН ВБУДОВАНИХ СПОРУД ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ (с. 6–14)

А. В. Гасенко, Д. В. Усенко, П. О. Семко, Д. М. Овсій

Об'єктом дослідження є цегляні конструкції багатопверхових житлових будівель. У таких будівлях по сучасним вимогам необхідно влаштовувати вбудовані захисні споруди цивільного захисту. Внаслідок тривалого температурно-вологісного впливу можливе намокання та руйнування цегляної кладки. Вирішення цієї проблеми вимагає розробки заходів із ізоляції цегляної кладки від зовнішніх впливів, а також за необхідності варіантів підсилення пошкоджених конструкцій. Одним із результатів роботи є виявлення на основі аналізу наслідків тривалих температурно-вологісних впливів на цегляні складнонавантажені конструкції (стіни, перегородки, колони) громадської будівлі основних їх пошкоджень. Ними є морозобійне руйнування до 40% початкового поперечного перерізу, що в основному пов'язано з різною пористістю цегли та впливом атмосферних опадів. Наступним результатом роботи є пропозиції щодо підвищення несучої здатності пошкодженої цегляної кладки за допомогою стяжних обойм з прокатних сталевих елементів. Якісною особливістю пропозиції є рекомендації з монтажу цих обойм, що дозволяють забезпечити включенням їх у спільну роботу з існуючими цегляними елементами. Дану якісну відмінну рису підтверджено шляхом математичного чисельного моделювання підвищення несучої здатності підсилених сталевими обоймами цегляних конструкцій. У науковому аспекті під час моделювання враховано різні початкові напружено-деформовані стани цегляних конструкцій і сталевих елементів підсилення на момент забезпечення сумісної їх роботи. Визначено, що після влаштування сталевих обойм підсилення максимальні напруження стиску у цегляній кладці зменшилися на 28,6%. Отримані результати доцільно застосовувати під час влаштування підсилень сталевими обоймами пошкоджених стиснутих цегляних конструкцій.

Ключові слова: захисні споруди, цегляні колони, морозобійне руйнування, підсилення, моделювання, скінченні елементи.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.335175

ВИЯВЛЕННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ДОВГОМІРНИХ ВАНТАЖІВ ПРИ ЗАЛІЗНИЧНО-ПОРОМНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ (с. 15–22)

А. О. Ловська, А. М. О कोरोков, А. О. Мурад'ян, В. Л. Ромах, Т. В. Болвановська

Об'єктом дослідження є процеси сприйняття та перерозподілу навантажень в несучій конструкції вагона-платформи для довгомірних вантажів при залізнично-поромних перевезеннях. Проблема, що вирішувалась в рамках даного дослідження, полягає у адаптації універсального вагона-платформи до перевезень довгомірних вантажів. При цьому пропонується удосконалення конструкції вагона-платформи шляхом оснащення боковими стінами каркасного типу, підкріплених сендвіч-панелями.

Обґрунтування запропонованого удосконалення здійснено математичним моделюванням динамічної навантаженості вагона-платформи при перевезенні залізничним поромом. Результати розрахунку встановили, що запропонована реалізація сприяє зменшенню динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи на 15% у порівнянні із типовою конструкцією. Отримані результати підтверджено комп'ютерним моделюванням. Результати розрахунку на міцність несучої конструкції вагона-платформи встановили, що її міцність забезпечується.

Особливість зазначеного удосконалення полягає у тому, що воно не потребує втручання в основний концепт несучої конструкції вагона-платформи, оскільки бокові стіни є знімними.

Сфера практичного використання результатів дослідження – залізничний транспорт. Умова практичного використання результатів – відсутність власного ступеня вільності каркаса бокових стін.

Результати даного дослідження сприятимуть підвищенню ефективності експлуатації залізничного транспорту, в тому числі, в міжнародному сполученні. Також отримані результати можуть бути корисними напрацюваннями при створенні сучасних конструкцій вагонів із покращеними технічними та експлуатаційними характеристиками.

Ключові слова: залізничний транспорт, вагон-платформа, удосконалення конструкції, навантаженість конструкції, міцність конструкції, залізнично-поромні перевезення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337849

ОБґРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ФОРМИ БІМЕТАЛЕВОГО МАХОВИКА (с. 23–31)

С. Л. Рягін, Р. В. Онищенко, В. Г. Шевченко, С. О. Шумикін

Об'єктом дослідження є маховик як пристрій для накопичення енергії. Вирішувалася проблема побудови послідовного підходу до оптимізації форми маховика.

Була реконструйована аналітична база оптимізації форми маховика для розкриття джерела суперечливості результатів. Було висвітлено, що для кільцеподібного маховика добуток радіуса та кутової швидкості обертання є константою, що залежить від властивостей матеріалу. Це стає дещо складнішим для інших форм маховиків. Це є причиною суперечливості результатів оптимізації форми маховика, що отримані дослідниками.

Були виконані порівняльні розрахунки з використанням методу скінченних елементів для кількох форм маховиків. Отримані результати підтвердили, що наближення матеріалу до осі обертання, включаючи форму диска Лавалю, не дає жодних переваг. Вибір матеріалу має суттєву перевагу порівняно з оптимізацією форми. Форма маховика має оптимізуватися разом з матеріалом. Кільцеподібний маховик є правильною вихідною точкою для оптимізації форми маховика. Отримані результати пояснюються природою поведінки матеріалу маховика при дії сил інерції.

Було запропоновано новий підхід до поєднання різних матеріалів у конструкції маховика. Один матеріал (високоміцна сталь) використовувався для кільця маховика. Інший матеріал з нижчим модулем пружності (високоміцний алюмінієвий сплав) використовувався для елементів, що з'єднують кільце з валом. Біметалевий маховик при рівні навантаження 24.6% для сталевих деталей та 17.3% для алюмінієвих деталей мав масу втричі меншу порівняно з базовим варіантом.

Сферою практичного використання отриманих результатів є проектування та виготовлення маховиків-акумуляторів з підвищеною питомою енергією для транспортних засобів та стаціонарних енергетичних установок.

Ключові слова: оптимізація форми маховика, питома енергія, біметалева конструкція, метод скінченних елементів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337172

ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ОЦІНКА ТРИМКСТІ ЗАКЛАДАЛЬНИХ МАСИВІВ ІЗ ПОДРІБНЕНОЇ ПОРОДИ РІЗНОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ (с. 32–42)

Д. А. Чепіга, О. М. Ткачук, Л. Л. Бачурін, Я. П. Бачуріна, Є. С. Подкопаєв, А. С. Беліков, О. О. Вісин, С. В. Подкопаєв, Л. Ф. Бондарчук, І. В. Андрощук

Об'єктом дослідження були деформаційні процеси у закладальних масивах з подрібненої породи, які використовуються для управління станом бічних порід на виїмкових ділянках вугільних шахт. Досліджувалась проблема збереження стійкості виробок за рахунок запобігання обвалень покрівлі у виробленому просторі вуглепородного масиву шляхом забезпечення тримкості закладальних масивів. Деформаційні процеси досліджувались на модельних матеріалах з подрібненої породи різного гранулометричного складу та насипної густини. Матеріал піддавали компресійному стисненню, що імітувало повне закладання виробленого простору породою. Показано, що енергетичні характеристики деформації та ущільнення подрібненої породи визначають тримкість закладальних масивів. Густина енергії деформації обумовлюється гранулометричним складом подрібненої породи поліфракційного складу. Максимальні значення питомої потенціальної енергії деформації зафіксовані при стисненні подрібненої породи з коефіцієнтом неоднорідності $C_u = 5.99$, яка має жорсткість на 7–13% більше, ніж у поліфракційних матеріалів з $C_u < 4$, що забезпечує тримкість закладального масиву. Встановлено, що зі зростанням коефіцієнта ущільнення закладального матеріалу зміна його об'єму на одиницю конвергенції ΔV_K (м^{-1}) відбувається за гіперболічною залежністю, що дозволяє прогнозувати граничне ущільнення закладального матеріалу.

Стійкість виробок, підтримуваних у виробленому просторі вуглепородного масиву, здатне забезпечити повне його закладання. Очікувана усадка закладального матеріалу визначає характер обмеження переміщень бічних порід у виробленому просторі, тримкість штучного масиву і залежить від гранулометричного складу подрібненої породи.

Ключові слова: гранулометричний склад, подрібнена порода, компресійне стиснення, повне закладання виробленого простору.