

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.220534

**DETERMINATION OF DYNAMIC LOADING OF BEARING STRUCTURES OF FREIGHT WAGONS WITH ACTUAL DIMENSIONS (p. 6–14)****Oleksij Fomin**

State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2387-9946>**Alyona Lovska**

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine

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

The determination of the dynamic loading of the bearing structures of the main types of freight wagons with the actual dimensions under the main operating conditions is carried out. The inertial coefficients of the bearing structures of the wagons are determined by constructing their spatial models in the SolidWorks software package. Two cases of loading of the bearing structures of the wagons – in the vertical and longitudinal planes – have been taken into account. The studies were carried out in a flat coordinate system. When modeling the vertical loading of the bearing structures of wagons, it was taken into account that they move in the empty state with butt unevenness of the elastic-viscous track. The bearing structures of the wagons are supported by bogies of models 18-100. The solution of differential equations of motion was carried out by the Runge-Kutta method in the MathCad software package. When determining the longitudinal loading of the bearing structures of wagons, the calculation was made for the case of a shunting collision of wagons or a “jerk” (tank wagon). The accelerations acting on the bearing structures of the wagons are determined.

The research results will help to determine the possibility of extending the operation of the bearing structures of freight wagons that have exhausted their standard service life.

It has been established that the indicators of the dynamics of the load-carrying structures of freight wagons with the actual dimensions of the structural elements are within the permissible limits. So, for a gondola wagon, the vertical acceleration of the bearing structure is  $4.87 \text{ m/s}^2$ , for a covered wagon –  $5.5 \text{ m/s}^2$ , for a flat wagon –  $5.8 \text{ m/s}^2$ , for a tank wagon –  $4.25 \text{ m/s}^2$ , for a hopper wagon –  $4.5 \text{ m/s}^2$ . The longitudinal acceleration acting on the bearing structure of a gondola wagon is  $38.25 \text{ m/s}^2$ , for a covered wagon –  $38.6 \text{ m/s}^2$ , for a flat wagon –  $38.9 \text{ m/s}^2$ , for a tank wagon –  $27.4 \text{ m/s}^2$ , for a hopper wagon –  $38.5 \text{ m/s}^2$ . This makes it possible to develop a conceptual framework for restoring the effective functioning of outdated freight wagons.

The conducted research will be useful developments for clarifying the existing methods for extending the service life of the bearing structures of freight wagons that have exhausted their standard resource.

**Keywords:** freight wagon, bearing structure, dynamic loading, modeling of loading, dynamic indicators, service life, railway transport, transport mechanics.

**References**

- Afanas'ev, A. E. (2008). Razrabotka metodiki raschetno-eksperimental'nogo obosnovaniya prodleniya sroka sluzhby poluvagonov. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya*, 2, 125–135. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-metodiki-raschetno-eksperimentalnogo-obosnovaniya-prodleniya-sroka-sluzhby-poluvagonov/viewer>
- Shushmarchenko, V. O., Fedorov, V. V., Strynzha, A. M., Fedosov-Nikonov, D. V. (2020). On the issue of technical diagnostics of tank wagons for transportation of dangerous goods. *Railbound rolling stock*, 20, 89–95. Available at: <https://ukrndiv.com.ua/wp-content/uploads/2020/06/89-95.pdf>
- Anofriev, V. H., Reidemeister, O. H., Kalashnyk, V. A., Kulieshov, V. P. (2016). To the issue of extending the service life of cars for transportation of pellets. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 3 (63), 148–160. doi: <https://doi.org/10.15802/stp2016/74749>
- Okorokov, A., Fomin, O., Lovska, A., Vernigora, R., Zhuravel, I., Fomin, V. (2018). Research into a possibility to prolong the time of operation of universal open top wagon bodies that have exhausted their standard resource. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (93)), 20–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.131309>
- Myamlin, S., Lingaitis, L. P., Dailydka, S., Vaičiūnas, G., Bogdevičius, M., Bureika, G. (2015). Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie. *TRANSPORT*, 30 (1), 88–92. doi: <https://doi.org/10.3846/16484142.2015.1020565>
- Krason, W., Niezgod, T. (2014). FE numerical tests of railway wagon for intermodal transport according to PN-EU standards. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, 62 (4), 843–851. doi: <https://doi.org/10.2478/bpasts-2014-0093>
- Fomin, O., Lovska, A., Pistek, V., Kucera, P. (2020). Research of stability of containers in the combined trains during transportation by railroad ferry. *MM Science Journal*, 2020 (1), 3728–3733. doi: [https://doi.org/10.17973/mmsj.2020\\_03\\_2019043](https://doi.org/10.17973/mmsj.2020_03_2019043)
- Fomin, O., Lovska, A., Pištěk, V., Kučera, P. (2019). Dynamic load effect on the transportation safety of tank containers as part of combined trains on railway ferries. *Vibroengineering PROCEDIA*, 29, 124–129. doi: <https://doi.org/10.21595/vp.2019.21138>
- Kondratiev, A. V., Gaidachuk, V. E., Kharchenko, M. E. (2019). Relationships Between the Ultimate Strengths of Polymer Composites in Static Bending, Compression, and Tension. *Mechanics of Composite Materials*, 55 (2), 259–266. doi: <https://doi.org/10.1007/s11029-019-09808-x>
- Dižo, J., Steišūnas, S., Blatnický, M. (2016). Simulation Analysis of the Effects of a Rail Vehicle Running with Wheel Flat. *Manufacturing Technology*, 16 (5), 889–896. doi: <https://doi.org/10.21062/ujep/x.2016/a/1213-2489/mt/16/5/889>
- Dižo, J., Harušinec, J., Blatnický, M. (2015). Multibody System of a Rail Vehicle Bogie with a Flexible Body. *Manufacturing Technology*, 15 (5), 781–788. doi: <https://doi.org/10.21062/ujep/x.2015/a/1213-2489/mt/15/5/781>
- Domin, Yu. V., Cherniak, H. Yu. (2003). *Osnovy dynamiky vahoniv*. Kyiv: KUETT, 269.
- Vatulia, G. L., Lobiak, O. V., Deryzemlia, S. V., Verevicheva, M. A., Orel, Y. F. (2019). Rationalization of cross-sections of the composite reinforced concrete span structure of bridges with a monolithic reinforced concrete roadway slab. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 664, 012014. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/664/1/012014>
- Vatulia, G., Komagorova, S., Pavliuchenkov, M. (2018). Optimization of the truss beam. Verification of the calculation results. *MATEC Web of Conferences*, 230, 02037. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823002037>

15. Fomin, O., Lovska, A. (2020). Improvements in passenger car body for higher stability of train ferry. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 23 (6), 1455–1465. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jestech.2020.08.010>
16. Boiko, V., Molchanov, V., Tverdomed, V., Oliinyk, O. (2018). Analysis of Vertical Irregularities and Dynamic Forces on the Switch Frogs of the Underground Railway. *MATEC Web of Conferences*, 230, 01001. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823001001>
17. Aharkov, O. V., Tverdomed, V. M., Boiko, V. D., Kovalchuk, V. V., Strelko, O. H. (2019). Influence of the structural design of rail fastenings on ensuring the stability of track gauge in operating conditions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 708, 012001. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/708/1/012001>
18. Kir'yanov, D. V. (2006). *Mathcad 13*. Sankt-Peterburg: BHV, 608.
19. D'yakov, V. (2000). *MATHCAD 8/2000: spetsial'niy spravochnik*. Sankt-Peterburg: Piter, 592.
20. DSTU 7598:2014. Freight wagons. General requirements to calculation and designing of the new and modernized 1520 mm gauge wagons (non-self-propelled) (2015). Kyiv, 162.
21. GOST 33211-2014. Freight wagons. Requirements to structural strength and dynamic qualities (2016). Moscow, 54.
22. EN 12663-2. Railway applications - structural requirements of railway vehicle bodies - Part 2: Freight wagons (2010).
23. Bogomaz, G. I., Mehov, D. D., Pilipchenko, O. P., Chernomashentseva, Yu. G. (1992). Nagruzhennost' konteynerov-tsisistem, raspolozhennyh na zheleznodorozhnoy platforme, pri udarah v avtostsepku. *Zb. nauk. prats: Dynamika ta keruvannia rukhom mekhanichnykh system*. Kyiv: ANU, Instytut tekhnichnoi mekhaniky, 87–95.
24. Fomin, O., Lovska, A., Radkevych, V., Horban, A., Skliarenko, I., Gurenkova, O. (2019). The dynamic loading analysis of containers placed on a flat wagon during shunting collisions. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14 (21), 3747–3752.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.219928

#### DEVELOPMENT OF ELECTRIC VEHICLE (EV)-BUS CHASSIS WITH REVERSE ENGINEERING METHOD USING STATIC ANALYSIS (p. 15–22)

**Nazaruddin**

Universitas Indonesia, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia  
Universitas Riau, Kotas Pekanbaru, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8081-7939>

**Mohammad Adhitya**

Universitas Indonesia, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1575-613X>

**Danardono A Sumarsono**

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

**Rolan Siregar**

Universitas Indonesia, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0300-7094>

**Ghany Heryana**

Universitas Indonesia, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8629-8327>

**Sonki Prasetya**

Universitas Indonesia, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1191-5287>

**Fuad Zainuri**

Universitas Indonesia, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8996-281X>

This research aims to simulate structural steel 400 (SS400) material as an alternative material for the electric bus's chassis structure. The kind of the material is low carbon steel. The SS400 material is produced from one of the largest steel mills in Indonesia, considered a local material. The local material used to increase the total domestic content in electric cars in Indonesia could be improved. Generally, the reverse engineering method of the R260 ladder frame type chassis is used to increase the local content in electric vehicles. However, this research used a ladder frame of type SS400 from local material to fulfill the local content of vehicle (EV)-bus chassis with the reverse engineering method. After the model was successfully created using the finite element software, statics analysis was carried out using the von Mises stress and the simulation results' deflection. The meshing process of the chassis structure is carried out in such a way as to assume global contact. Loading was evenly carried out over the two main beam ladder frames totaling 14,200 kg. The elasticity modulus and tensile strength values used for the material are 190 GPa and 480 MPa. Furthermore, the support was placed in the mounting position of the front and rear wheel leaf springs at a front, rear overhang, and wheelbase distance of 2,380 mm, 3,290 mm, and 6,000 mm. The resulting approach was carried out using a beam model with a two-overhang beam model. The simulation results showed that type SS400 from the local material obtained a maximum von Mises stress value of 75.8 MPa, deflection of 2.568 mm, and the lowest safety factor of 3.2. Meanwhile, through theoretical calculations, the obtained stress occurred in 72.33 MPa and deflection of 2.594. There is no significant difference between simulation results and theoretical results.

**Keywords:** chassis, ladder frame, von Mises stress, low carbon steel, electric vehicle.

#### References

1. Thomas, J. (2014). Drive Cycle Powertrain Efficiencies and Trends Derived from EPA Vehicle Dynamometer Results. *SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems*, 7 (4), 1374–1384. doi: <https://doi.org/10.4271/2014-01-2562>
2. Lohse-Busch, H., Duoba, M., Rask, E., Stutenberg, K., Gowri, V., Slezak, L., Anderson, D. (2013). Ambient Temperature (20°F, 72°F and 95°F) Impact on Fuel and Energy Consumption for Several Conventional Vehicles, Hybrid and Plug-In Hybrid Electric Vehicles and Battery Electric Vehicle. *SAE Technical Paper Series*. doi: <https://doi.org/10.4271/2013-01-1462>
3. Rhodes, K., Kok, D., Sohoni, P., Perry, E., Kraska, M., Wallace, M. (2017). Estimation of the Effects of Auxiliary Electrical Loads on Hybrid Electric Vehicle Fuel Economy. *SAE Technical Paper Series*. doi: <https://doi.org/10.4271/2017-01-1155>
4. Carlson, R. B., Wishart, J., Stutenberg, K. (2016). On-Road and Dynamometer Evaluation of Vehicle Auxiliary Loads. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, 9 (1), 260–268. doi: <https://doi.org/10.4271/2016-01-0901>
5. Ayu, W. (2016). UI Perkenalkan Mobil Listrik di Dies Natalis ke-52 FTUI.
6. Milliken, W. F., Milliken, D. L. (2002). Chassis Design. *SAE International*, 676. doi: <https://doi.org/10.4271/r-206>
7. Crolla, D. A. (Ed.) (2009). *Automotive engineering: powertrain, chassis system and vehicle body*. Butterworth-Heinemann, 827.
8. Mahmoodi-k, M., Davoodabadi, I., Višnjić, V., Afkar, A. (2014). Stress and dynamic analysis of optimized trailer chassis. *Tehnički vjesnik: znanstveno-stručni časopis tehničkih fakulteta Sveučilišta u Osijeku*, 21 (3), 599–608.

9. Rajappan, R., Vivekanandhan, M. (2013). Static and modal analysis of chassis by using FEA. *The International Journal Of Engineering And Science*, 2 (2), 63–73.
10. Renuke, P. A. (2012). Dynamic analysis of a car chassis. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2 (6), 955–959.
11. Patel, V. V., Patel, R. I. (2012). Structural analysis of a ladder chassis frame. *World Journal of Science and Technology*, 2 (4), 5–8.
12. Singh, A., Soni, V., Singh, A. (2014). Structural analysis of ladder chassis for higher strength. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 4 (2), 253–259.
13. Francis, V., Rai, R. K., Singh, A. K., Singh, P. K., Yadav, H. (2014). Structural Analysis of Ladder Chassis Frame for Jeep Using Ansys. *International Journal Of Modern Engineering Research (IJMER)*, 4 (4), 41–47.
14. Patil, H. B., Kachave, S. D., Deore, E. R. (2013). Stress Analysis of Automotive Chassis with Various Thicknesses. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 6 (1), 44–49. doi: <https://doi.org/10.9790/1684-0614449>
15. Chandra, M. R., Sreenivasulu, S., Hussain, S. A. (2012). Modeling and Structural analysis of heavy vehicle chassis made of polymeric composite material by three different cross sections. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, 2 (4), 2594–2600.
16. Siregar, R., Adhitya, M., Sumarsono, D. A., Nazaruddin, Heryana, G., Zainuri, F. (2020). Study the brake performance of a passenger car based on the temperature that occurs in each brake unit. RECENT PROGRESS ON: MECHANICAL, INFRASTRUCTURE AND INDUSTRIAL ENGINEERING: Proceedings of International Symposium on Advances in Mechanical Engineering (ISAME): Quality in Research 2019. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0003747>
17. Adhitya, M., Siregar, R., Sumarsono, D. A., Nazaruddin, N., Heryana, G., Prasetyo, S., Zainuri, F. (2020). Experimental analysis in the test rig to detect temperature at the surface disc brake rotor using rubbing thermocouple. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (5 (104)), 6–11. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.191949>
18. 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, 012002. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/694/1/012002>
19. Solghar, A. A., Arsalanloo, Z. (2013). The Stress Analysis of Minibus Chassis Using Finite Element Method. *Caspian Journal of Applied Sciences Research*, 2 (5), 20–25.
20. Rajasekar, K., Saravanan, R. (2014). Literature Review on Chassis Design of On-Road Heavy Vehicles. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 1 (7), 428–433.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.228960**

**A COMPREHENSIVE PROCEDURE FOR ESTIMATING THE STRESSED-STRAINED STATE OF A REINFORCED CONCRETE BRIDGE UNDER THE ACTION OF VARIABLE ENVIRONMENTAL TEMPERATURES (p. 23–30)**

**Vitalii Kovalchuk**

National Transport University, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4350-1756>

**Artur Onyshchenko**

National Transport University, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

**Olexander Fedorenko**

Kyivavtodor Municipal Corporation, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3464-597X>

**Mykola Habrel**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2514-9165>

**Bogdan Parneta**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2696-2449>

**Oleh Vozyak**

Lviv Branch of the Dnipro National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7163-9026>

**Ruslan Markul**

Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7630-8963>

**Mariana Parneta**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9459-3676>

**Roman Rybak**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0745-6620>

This paper reports the full-scale experimental measurements of temperature distribution over the surfaces of bridges' steel-concrete beams under the influence of positive and negative ambient temperatures. It has been established that the temperature is distributed unevenly along the vertical direction of a bridge's steel-concrete beam.

It was found that the metal beam accepted higher temperature values. The maximum registered temperature difference between a metal beam and a reinforced concrete slab at positive ambient temperatures was +9.0 °C, and the minimum temperature difference was –2.1 °C.

The mathematical models for calculating a temperature field and a thermally strained state of bridges' steel-concrete beams under the influence of variable climatic temperature changes in the environment have been improved, taking into consideration the uneven temperature distribution across a bridge's reinforced concrete beam. The possibility has been established to consider a one-dimensional problem or to apply the three-dimensional estimated problem schemes as the estimation schemes for determining the thermo-elastic state of reinforced concrete bridges.

The temperature field and the stressed state of bridges' reinforced concrete beams were determined. It was found that the maximum stresses arise at the place where a metal beam meets a reinforced concrete slab. These stresses amount to 73.4 MPa at positive ambient temperatures, and 69.3 MPa at negative ambient temperatures.

The amount of stresses is up to 35 % of the permissible stress values. The overall stressed-strained state of a bridge's reinforced concrete beams should be assessed at the joint action of temperature-induced climatic influences and loads from moving vehicles.

**Keywords:** road bridge, reinforced concrete beam, temperature fields, temperature stresses, ambient temperature.

**References**

1. Balabuh, Ya. (2010). Efficiency of steel-reinforced road bridges. *Dorogi i mosti*, 12, 16–23. Available at: <http://dorogimosti.org.ua/ua/efektivnisty-stalezalizobetonnih-avtodoroghnih-mostiv>

2. Kovalchuk, V. V. (2012). Stan ta problemy zabezpechennia dovhovichnosti prohonovykh budov mostiv. Zbirnyk naukovykh prats DonIZT, 32, 226–235.
3. Koval, P. M., Balabukh, Ya. A. (2012). Problemy zabezpechennia dovhovichnosti stalebetonnykh mostiv. Mekhanika i fizyka ruinuвання budivelnnykh materialiv ta konstruksiy, 9, 426–443.
4. Kovalchuk, V., Markul, R., Bal, O., Milyanych, A., Pentsak, A., Parneta, B., Gajda, A. (2017). The study of strength of corrugated metal structures of railroad tracks. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (7 (86)), 18–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96549>
5. Kovalchuk, V. (2014). Study of temperature field and stress state of metal convoluted pipes. Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy, 29, 186–192. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs\\_2014\\_29\\_29](http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs_2014_29_29)
6. Beben, D. (2017). Experimental Testing of Soil-Steel Railway Bridge Under Normal Train Loads. Experimental Vibration Analysis for Civil Structures, 805–815. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-67443-8\\_71](https://doi.org/10.1007/978-3-319-67443-8_71)
7. Li, D., Maes, M. A., Dilger, W. H. (2004). Thermal design criteria for deep prestressed concrete girders based on data from Confederation Bridge. Canadian Journal of Civil Engineering, 31 (5), 813–825. doi: <https://doi.org/10.1139/104-041>
8. Pisani, M. A. (2004). Non-linear strain distributions due to temperature effects in compact cross-sections. Engineering Structures, 26 (10), 1349–1363. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2004.04.004>
9. Barr, P. J., Stanton, J. F., Eberhard, M. O. (2005). Effects of Temperature Variations on Precast, Prestressed Concrete Bridge Girders. Journal of Bridge Engineering, 10 (2), 186–194. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1084-0702\(2005\)10:2\(186\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1084-0702(2005)10:2(186))
10. AASHTO LRFD bridge design specifications (2008). Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials. Available at: <https://www.worldcat.org/title/aashto-lrfd-bridge-design-specifications/oclc/317485511>
11. Lee, J.-H. (2010). Experimental and analytical investigations of the thermal behavior of prestressed concrete bridge girders including imperfections. Georgia Institute of Technology Atlanta, GA, 302. Available at: <https://smartech.gatech.edu/handle/1853/34675>
12. DBN V.1.2-15:2009. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Navantazhennia i vplyvy. K.: Minbud Ukrainy, 84. Available at: <http://kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/48.1.%20%D0%94%D0%91%D0%9D%20%D0%92.1.2-15-2009.%20%D0%A1%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%B8%20%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D1%83.%20%D0%9C%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20%D1%82%D0%B0%20%D1%82%D1%80.pdf>
13. Luchko, Y. Y., Sulym, H. T., Kyrian, V. I. (2004). Mekhanika ruinuвання mostovykh konstruksii ta metody prohozuvannia yikh zalyskovoï dovhovichnosti. Lviv: Kameniar, 885. Available at: <http://94.158.152.98/opac/index.php?url=/notices/index/IdNotice:85921/Source:default>.
14. De Backer, H., Outtier, A., Van Bogaert, P. (2009). Numerical and experimental assessment of thermal stresses in steel box girders. Conference: Nordic Steel Construction Conference, 11th, Proceedings, 65–72. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/259004379\\_Numerical\\_and\\_experimental\\_assessment\\_of\\_thermal\\_stresses\\_in\\_steel\\_box\\_girders](https://www.researchgate.net/publication/259004379_Numerical_and_experimental_assessment_of_thermal_stresses_in_steel_box_girders)
15. Balmes, E., Corus, M., Siegert, D. (2006). Modeling thermal effects on bridge dynamic responses. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/228758158>
16. Zahabizadeh, B., Edalat-Behbahani, A., Granja, J., Gomes, J. G., Faria, R., Azenha, M. (2019). A new test setup for measuring early age coefficient of thermal expansion of concrete. Cement and Concrete Composites, 98, 14–28. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.01.014>
17. Dilger, W. H., Ghali, A., Chan, M., Cheung, M. S., Maes, M. A. (1983). Temperature Stresses in Composite Box Girder Bridges. Journal of Structural Engineering, 109 (6), 1460–1478. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(1983\)109:6\(1460\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(1983)109:6(1460))
18. Luchko, J., Hnativ, Yu., Kovalchuk, V. (2013). Temperature field and stressed state of composite bridge span investigation. Visnyk Ternopil'skoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu, 2, 29–38. Available at: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/9759>.
19. Gera, B., Kovalchuk, V. (2019). A study of the effects of climatic temperature changes on the corrugated structure. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (7 (99)), 26–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.168260>
20. Kovalchuk, V., Hnativ, Y., Luchko, J., Sysyn, M. (2020). Study of the temperature field and the thermo-elastic state of the multilayer soil-steel structure. Roads and Bridges - Drogi i Mosty, 19 (1), 65–78. doi: <https://doi.org/10.7409/rabd.020.004>
21. Luchko, Y. Y., Kovalchuk, V. V. (2012). Vymiriuvannia napruzhenodeformovanoho stanu konstruksiy mostiv pry zminnykh temperaturakh i navantazhenniakh. Lviv: Kameniar, 235.
22. Rudakov, K. M. (2009). Vstup u UGS Femap 9.3 (for Windows NT). Heometrychne ta skinchenno-elementne modeliuvannia konstruksiy. Kyiv: NTUU «KPI», 282. Available at: [http://mmidmm.kpi.ua/images/pdf/personnel/RUDAKOV/publicacii/Femap93\\_PDF/Femap93.htm](http://mmidmm.kpi.ua/images/pdf/personnel/RUDAKOV/publicacii/Femap93_PDF/Femap93.htm)

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229213

**DEVELOPMENT OF A TECHNIQUE FOR COMPUTER SIMULATION OF THE STRESS STATE OF THE DRIVE DRUM SHELL OF A BELT CONVEYOR TO OPTIMIZE ITS DESIGN PARAMETERS (p. 31–39)**

**Olzhas Jassinbekov**

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8369-4153>

**Madina Isametova**

PhD, Associate Professor  
Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4630-271X>

**Gabit Kaldan**

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2627-2464>

The paper considers the method of computer simulation of the stress-strain state of the drive drum shell in the NASTRAN integrated environment. Due to the complexity of determining stresses and deformations in the drum sections by the analytical method, it is proposed to solve this important problem using the numerical finite-element method. At the preliminary stage of computer modeling, a mechanical design scheme was developed, including a variable pressure that changes depending on the angle of rotation of the drum, the deterministic relations describing the variable force factors are based on the Euler ratio. It is also proposed to take into account the pressure from the variable friction force, which depends on the changing coefficient of adhesion of the belt to the drum.

As a result of the computer calculation, the equivalent Mises stresses of 65 MPa were determined, the safety factor was 4.2 and the components of the tangential stresses were determined using the

stress tensor marker, the shear stress reached the level  $\tau=16$  MPa for fabric tape and  $\tau=3.14$  MPa for rubber tape. According to the results of the calculation, the dependence of the tangential stresses on the angle of rotation of the drum was constructed. A diagram of the change in the component of tangential stresses along the forming shell of the drum was constructed.

Analysis of stress-strain state allowed us to determine the factor of safety of the drum shell. Based on the analysis of equivalent stresses, it is proposed to further calculate the durability of the drum using the method of long-term fatigue. The computer calculation of shear stresses in the component allows choosing the rational parameters of the lining, based on such indicators as peel strength and break, as well as determining the angle  $61^\circ$  of the slab lining required to improve the reliability and traction ability of the pipeline.

**Keywords:** conveyor belt, durability, drive drum, stresses, deformation, finite-element method, lining.

### References

- Mihailidis, A., Bouras, E., Athanasopoulos, E. (2015). FEM analysis of a belt conveyor driving drum. 6th BETA CAE International Conference. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/283500471>
- Solovykh, D. Ya. (2014). Modelirovanie na EVM napryazhennogo sostoyaniya privodnogo barabana lentochnogo konveyera dlya otsenki dolgovrechnosti svarnykh shvov [Computer-aided modeling of stress state of belt driving drum to estimate endurance of joint welds]. Moscow: Gornaya kniga, 12. Available at: <https://www.litres.ru/d-solovykh/modelirovanie-na-evm-napryazhennogo-sostoyaniya-privodnogo-barabana-lentochnogo-konveyera-dlya-ocenki-dolgovrechnosti-svarnykh-shvov-25285151/>
- Ananth, K. N. S., Rakesh, V. (2013). Design and Selecting the Proper Conveyor-Belt. International Journal of Advanced Engineering Technology, 4 (2). Available at: <https://www.technicaljournalsonline.com/ijeat/VOL%20IV/IJAET%20VOL%20IV%20ISSUE%20II%20APRIL%20JUNE%202013/Vol%20IV%20Issue%20II%20Article%2012.pdf>
- Dmitriev, V. G., Asaenko, V. V. (2011). Charakter nagruzeniya obchayki privodnogo barabana lentochnogo konveyera pri peremennom koefitsiente stsepleniya lenty s ego poverhnost'yu. Gorniy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (GIAB), 2, 375–378.
- Conveyor Belt Basic Rules and Procedures for Tracking and Training (2006). Besser Service Bulletin.
- Conveyor Handbook (2009). Fenner Dunlop. Available at: [http://www2.hcmuaf.edu.vn/data/dangnh/file/5\\_Fenner%20Dunlop\\_%202009\\_%20Conveyor%20Handbook.pdf](http://www2.hcmuaf.edu.vn/data/dangnh/file/5_Fenner%20Dunlop_%202009_%20Conveyor%20Handbook.pdf)
- Rulmeca. Technical Information (2009). Project and Design Criteria for Belt conveyors.
- Lodewijks, G., Nuttall, A. J. G. (2007). Dynamics of decentralized driven belt conveyors. 9th International Conference on Bulk Materials Storage, Handling and Transportation, ICBMH 2007.
- Solovykh, D. Ya. (2014). Matematicheskaya model' formirovaniya davleniy na privodnom barabane lentochnogo konveyera s uchedom izmenyayuschegosya koefitsienta stsepleniya. Gorniy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (GIAB), spetsvypusk, 12.
- Fedorko, G., Beluško, M., Hegedűs, M. (2015). FEA Utilization for Study of the Conveyor Belts Properties in the Context of Internal Logistics Systems. Czech Republic. Available at: <http://konsys2.tanger.cz/files/proceedings/24/papers/4619.pdf>
- Michalik, P., Zajac, J. (2012). Using of computer integrated system for static tests of pipe conveyer belts. Proceedings of the 13th International Carpathian Control Conference (ICCC). doi: <https://doi.org/10.1109/carpathiancc.2012.6228691>
- Affolter, C., Piskoty, G., Koller, R., Zraggen, M., Rütli, T. F. (2007). Fatigue in the shell of a conveyor drum. Engineering Failure Analysis, 14 (6), 1038–1052. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2006.11.071>
- Gulak, M. L. (1998). Issledovanie napryajennogo sostoyaniya i optimizatsiya konstruktivnykh parametrov barabanov lentochnih konveierov gornih predpriyatii. Moscow, 148. Available at: <https://www.dissercat.com/content/issledovanie-napryazhennogo-sostoyaniya-i-optimizatsiya-konstruktivnykh-parametrov-barabanov>
- Solovykh, D. Y. (2018). Razrabotka metoda rascheta ustalostnoi dolgovrechnosti privodnih barabanov lentochnih konveierov dlya gornoi promishlennosti. Moscow, 125. Available at: [https://misis.ru/files/9582/Solovykh\\_dis.pdf](https://misis.ru/files/9582/Solovykh_dis.pdf)
- Zhilkin, V. A. (2013). Azbuka injenernih raschetov v MSC Patran-Nastran-Marc. Sankt-Peterburg: Prospekt Nauki, 576. Available at: <http://www.iprbookshop.ru/35886.html>
- Kim, J. K., Shim, H. J., Kim, C. S. (2006). Durability Analysis of the Pulley in the Power Steering System Considering the Variation of the Fatigue Strength. Key Engineering Materials, 306-308, 429–434. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.306-308.429>
- Povetkin, V. V., Isametova, M. E., Isayeva, I. N., Bukayeva, A. Z. (2018). Dynamic modeling of ball mill drive with regard to damping properties of its elements. Mining Informational and Analytical Bulletin, 5, 184–192. doi: <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-5-0-184-192>
- Fatemi, A. (2004). Fatigue behavior and life predictions of notched specimens made of QT and forged microalloyed steels. International Journal of Fatigue, 26 (6), 663–672. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2003.10.005>
- Ragan, P., Manuel, L. (2007). Comparing Estimates of Wind Turbine Fatigue Loads Using Time-Domain and Spectral Methods. Wind Engineering, 31 (2), 83–99. doi: <https://doi.org/10.1260/030952407781494494>
- Solovykh, D. Ya. (2014). Matematicheskaya model' formirovaniya davleniy na privodnom barabane lentochnogo konveyera s uchedom izmenyayuschegosya koefitsienta stsepleniya. Moscow, 7. Available at: [https://globalf5.com/Knigi/Nauka-Obrazovanie/Inzhnerno-tehnicheskie-nauki/prikladnaya-geologiya-i/Gornoe-delo/Matematicheskaya-model-formirovaniya\\_176123](https://globalf5.com/Knigi/Nauka-Obrazovanie/Inzhnerno-tehnicheskie-nauki/prikladnaya-geologiya-i/Gornoe-delo/Matematicheskaya-model-formirovaniya_176123)
- Zenkov, R. L., Ivashkov, I. I., Kolobov, L. N. (1987). Mashini neprernovogo transporta. Moscow: Mashinostroenie, 432. Available at: [https://www.studmed.ru/zenkov-rl-ivashkov-ii-kolobov-ln-mashiny-neprernovogo-transporta\\_2ff26c75477.html](https://www.studmed.ru/zenkov-rl-ivashkov-ii-kolobov-ln-mashiny-neprernovogo-transporta_2ff26c75477.html)
- Ushakov, Ye. N., Kostykin, A. P., Shaidulin, K. V., Merzliakov, P. Ye. (2011). Methods of belt conveyor drive drum rubber lining laboratory tests conducting. Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noy promyshlennosti. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-provedeniya-laboratornyh-ispytaniy-rezinovoy-futrovki-privodnyh-barabanov-lentochnyh-konveyerov>
- Affolter, C., Piskoty, G., Koller, R., Zraggen, M., Rütli, T. F. (2007). Fatigue in the shell of a conveyor drum. Engineering Failure Analysis, 14 (6), 1038–1052. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2006.11.071>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.228862

### IMPROVING THE ALGORITHM OF CHOOSING SPACING AND NUMBER OF STIFF SUPPORTS AGAINST A CONCENTRATED FORCE IN STEEL-CONCRETE BEAMS (p. 40–47)

Anatoliy Petrov

Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6644-223X>

**Andriy Paliy**

Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University  
of Agriculture, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9525-3462>

**Artem Naumenko**

Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University  
of Agriculture, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1015-2457>

**Serhiy Sheptun**

Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University  
of Agriculture, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1981-4560>

**Maryna Ihnatenko**

Kharkiv National Automobile and Highway University,  
Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2599-8236>

**Ivan Vysochin**

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5122-6016>

**Yana Kononenko**

Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9708-7215>

**Oksana Yurchenko**

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6498-2339>

**Tetiana Dedilova**

Kharkiv National Automobile and Highway University,  
Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3924-979X>

**Anatoliy Paliy**

National Scientific Center «Institute of Experimental and Clinical  
Veterinary Medicine», Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9193-3548>

A steel-concrete beam was taken as the study object. The algorithm of selecting the number of stiff supports for the steel-concrete beam loaded with a concentrated lateral force in the middle of the span has been refined. Stiff supports served to join the steel strip with concrete to ensure their joint performance. The algorithm was refined based on the condition of equality of the longitudinal force in the steel strip from the action of the calculated load and the maximum longitudinal force obtained after setting the supports. In this case, the longitudinal forces in all stiff supports, as well as the spacing of the stiff supports should be the same.

A disadvantage of the known algorithm consists in the complexity of determining the coefficient  $\mu_2$  taking into account the effect of long-term concrete creep on the element deformation without cracks. This coefficient fluctuates widely and depends on many factors. Besides, it is also insufficiently studied.

Calculations for determining the number and spacing of stiff supports in a steel-concrete beam were conducted according to the proposed algorithm and in the Lira software package. The forces acting on the supports and spacing of the supports were the same. The force acting in the support was 8941.5 N. When selecting characteristics of the steel-concrete beam, maximum longitudinal force in the steel strip was obtained. The longitudinal force amounted to 35726 N. The same longitudinal force was obtained from the diagram of longitudinal forces obtained after setting the supports.

This study was aimed at improving the design of steel-concrete beams. A rational number and placement of stiff supports ensure savings: the required amount of building materials is reduced and their

cost is reduced due to cutting labor costs for their manufacture and operation.

**Keywords:** steel-concrete beam, stiff support, spacing of supports, force in a support, reduced stiffness, graphic-analytical method.

**References**

- Xing, Y., Han, Q., Xu, J., Guo, Q., Wang, Y. (2016). Experimental and numerical study on static behavior of elastic concrete-steel composite beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 123, 79–92. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2016.04.023>
- Patil, S. P., Sangle, K. K. (2016). Tests of steel fibre reinforced concrete beams under predominant torsion. *Journal of Building Engineering*, 6, 157–162. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2016.02.004>
- Vandolovskyi, S. S., Kostyuk, T. O., Rachkovskiy, O. V., Plakhotnikova, I. A. (2018). Technology of creation of steel-fibrobeton with high strength to stretchings. *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, 2 (56), 126–131. doi: <https://doi.org/10.30748/zhups.2018.56.18>
- Wandolovsky, A., Younis, B. N., Riyed, A. Y. (2017). Effect vibravacuumizing on bonding strength of basalt fibers to cementitious matrix. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*, 6 (1), 1–6.
- Shkromada, O., Paliy, A., Nechyporenko, O., Naumenko, O., Nechyporenko, V., Burlaka, O. et. al. (2019). Improvement of functional performance of concrete in livestock buildings through the use of complex admixtures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (6 (101)), 14–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.179177>
- Hsiao, P.-C., Lehman, D. E., Roeder, C. W. (2012). Improved analytical model for special concentrically braced frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 73, 80–94. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2012.01.010>
- Mahmoud, A. M. (2016). Finite element modeling of steel concrete beam considering double composite action. *Ain Shams Engineering Journal*, 7 (1), 73–88. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2015.03.012>
- Luan, N. K., Bakhshi, H., Ronagh, H. R., Barkhordari, M. A., Amiri, G. G. (2011). Analytical solutions for the in-plane behavior of composite steel-concrete beams with partial shear interaction. *Asian Journal of Civil Engineering*, 12 (6), 751–771.
- Medvedev, V. N., Semeniuk, S. D. (2016). Durability and deformability of braced bending elements with external sheet reinforcement. *Magazine of Civil Engineering*, 3, 3–15. doi: <https://doi.org/10.5862/mce.63.1>
- Zamaliyev, F. S. (2018). Numerical and full-scale experiments of prestressed hybrid reinforced concrete-steel beams. *Vestnik MGSU*, 13 (3 (114)), 309–321. doi: <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.3.309-321>
- Rakhmonov, A. D., Solov'ov, N. P., Pozdeev, V. M. (2014). Computer modeling for investigating the stress-strain state of beams with hybrid reinforcement. *Vestnik MGSU*, 1, 187–195. doi: <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2014.1.187-195>
- Utkin, V. A. (2010). Regulirovanie polozheniya neytral'noy osi pri proektirovanii secheniy stalezhelezobetonnykh balok. *Vestnik SibADI*, 4 (18), 55–60.
- Bobalo, T. V., Blikharskiy, Z. Ya., Ilnytskiy, B. M., Kramarchuk, A. P. (2011). Osoblyvosti roboty stalebetonnykh balok armovanykh sterzhnevoiu vysokomitsnoiu armaturoiu riznykh klasiv. *Visnyk NU «Lvivska politehnika»*, 697, 42–48.
- Storozhenko, L. I., Krupchenko, O. A. (2010). Stalezalizobetonni balky iz zalizobetonnykh verkhnykh poiasom. *Visnyk NU «Lvivska politehnika»*, 662, 354–360.

15. Vahnenko, P. F., Hilobok, V. G., Andreyko, N. T., Yarovoy, M. L. (1987). Raschet i konstruirovaniye chastey zhilyh i obschestvennyh zdaniy. Kyiv: Budlvel'nik, 423.
16. Ying, H., Huawei, P., Xueyou, Q., Jun, P., Xiancun, L., Qiyun, P., Bao, L. (2017). Performance of Reinforced Concrete Beams Retrofitted by a Direct-Shear Anchorage Retrofitting System. *Procedia Engineering*, 210, 132–140. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.11.058>
17. John, A. T., Nwankwo, E., Orumu, S. T., Osuji, S. O. (2019). Structural Performance of Externally Strengthened Rectangular Reinforced Concrete Beams by Glued Steel Plate. *European Journal of Engineering Research and Science*, 4 (9), 101–106. doi: <https://doi.org/10.24018/ejers.2019.4.9.1480>
18. Storozhenko, L. I., Lapenko, O. I., Horb, O. H. (2010). Konstruktsiyi zalizobetonnykh perekryttiv po profilnomu nastylu iz zabezpecheniam sumisnoi roboty betonu i stali za dopomohoiu skleivuvannia. *Visnyk NU «Lvivska politekhnikha»*, 662, 360–365.
19. Mel'man, V. A., Torkatyuk, V. I., Zolotova, N. M. (2003). Ispol'zovanie akrilovykh kleev dlya soedineniya betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsiy. *Municipal economy of cities*, 51, 61–68.
20. Mofidi, A., Chaallal, O., Shao, Y. (2014). Analytical Design Model for Reinforced-Concrete Beams Strengthened in Shear Using L-Shaped CFRP Plates. *Journal of Composites for Construction*, 18 (1), 04013024. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cc.1943-5614.0000433](https://doi.org/10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000433)
21. Ferhat, F. (2019). Design Optimization of Reinforced Ordinary and High-Strength Concrete Beams with Eurocode2 (EC-2). *Optimum Composite Structures*. doi: <https://doi.org/10.5772/intechopen.78734>
22. Wongmatar, P., Hansapinyo, C., Vimonsatit, V., Chen, W. (2018). Recommendations for Designing Reinforced Concrete Beams Against Low Velocity Impact Loads. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, 18 (09), 1850104. doi: <https://doi.org/10.1142/s0219455418501043>
23. Shuraim, A. B. (2014). A novel approach for evaluating the concrete shear strength in reinforced concrete beams. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 11 (1), 93–112. doi: <https://doi.org/10.1590/s1679-78252014000100006>
24. Ito, H., Iwanami, M., Yokota, H., Kato, E. (2014). Analytical Study on Shear Capacity Evaluation of RC Beams with PVA Short Fiber. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 12 (6), 187–199. doi: <https://doi.org/10.3151/jact.12.187>
25. Petrov, A., Pavliuchenkov, M., Nanka, A., Paliy, A. (2019). Construction of an algorithm for the selection of rigid stops in steel concrete beams. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (97)), 41–49. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155469>
26. Petrov, A., Paliy, A., Pavliuchenkov, M., Tsyhanenko, H., Khabot, N., Vysochin, I. et. al. (2020). Construction of an algorithm for the selection of rigid stops in steelconcrete beams under the action of a distributed load. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (105)), 27–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.204251>
27. DBN V.2.6-160:2010. Stalezalizobetonni konstruktsiyi (2011). Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 93.
28. Petrov, A. (2019). Destruction of concrete along an inclined crack in steelconcrete beams. *Visnyk KhNTUSH im. Petra Vasylenka*, 205, 289–295.
29. TKP EN 1994-1-1-2009 (02250). Evrokod 4: Proektirovaniye stalezhelezobetonnykh konstruktsiy. Ch. 1-1. Obschie pravila i pravila dlya zdaniy (2010). Minsk: Minstroyarhitektury, 95.
30. DSTU B V.2.6-216:2016. Rozrakhunok i konstruiuvannia ziednuvalnykh elementiv stalezalizobetonnykh konstruktsiy (2016). Kyiv: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy, 40.
31. Petrov, A. N., Kobzeva, E. N., Krasnyuk, A. G. (2015). Vybory optimal'nykh po stoimosti parametrov stalebetonnykh balok. *Materialy III mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsiyi. Kharkiv-Krasnyi Lyman*, 330–336.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229428

**SOLVING A ONE MIXED PROBLEM IN ELASTICITY THEORY FOR HALF-SPACE WITH A CYLINDRICAL CAVITY BY THE GENERALIZED FOURIER METHOD (p. 48–57)**

**Nataliia Ukrainets**

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7406-5809>

**Olena Murahovska**

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6170-5173>

**Olha Prokhorova**

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9109-4908>

Designing and constructing underground structures for various purposes, such as tunnels, mines, mine workings, necessitate the development of procedures for calculating their strength and reliability. The physical model of such objects worth considering is a homogeneous isotropic half-space that contains an infinitely long hollow cylinder, located parallel to its border. One can explore problems related to the mechanics of deformable solids for such a multiply connected body.

This paper reports the proofs of addition theorems of the basis solutions to the Lamé equation for the half-space and cylinder wrote, respectively, in the Cartesian and cylindrical coordinate systems. This result is important from a theoretical point of view in order to substantiate a numerical-analytical method – the generalized Fourier method. This method makes it possible to solve spatial boundary problems from the theory of elasticity and thermo-elasticity for isotropic and transversal-isotropic multiply connected bodies. Similar to the classical Fourier method, the general solutions to equilibrium equations have been used here but in several coordinate systems rather than one.

From a practical point of view, this method has made it possible to investigate the mixed problem of elasticity theory for the multiply-connected body described above. The analysis of the stress-strain state of this elastic body has made it possible to draw conclusions on determining those regions that are most vulnerable to destruction. The highest values are accepted by normal stresses in the region between the boundaries of the half-space and the cylinder. Changing the  $\sigma_y$  component along the Ox axis corresponds to the displacements assigned on the half-space. The  $\tau_{xy}$  component contributes less to the distribution of stresses than  $\sigma_x$  and  $\sigma_y$ . The applied aspect of using the reported results is the possibility to apply them when designing underground structures.

**Keywords:** addition theorems, Lamé equation, generalized Fourier method, half-space, cylindrical cavity.

## References

1. Tsuchida, E., Nakahara, I. (1970). Three-Dimensional Stress Concentration around a Spherical Cavity in a Semi-Infinite Elastic Body. *Bulletin of JSME*, 13 (58), 499–508. doi: <https://doi.org/10.1299/jsme1958.13.499>
2. Lukić, D., Prokić, A., Anagnosti, P. (2009). Stress–strain field around elliptic cavities in elastic continuum. *European Journal of Mechanics - A/Solids*, 28 (1), 86–93. doi: <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2008.04.005>
3. Mi, C., Kouris, D. (2013). Stress concentration around a nanovoid near the surface of an elastic half-space. *International Journal of Solids and Structures*, 50 (18), 2737–2748. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2013.04.029>
4. Erzhanov, Zh. S., Kalybaev, A. A., Madaliev, T. B. (1988). *Uprugoe poluprostranstvo s polost'yu*. Alma-Ata: Nauka Kaz SSR, 244.
5. Malits, P. Y. (1991). An axially symmetric contact problem for a half-space with an elastically reinforced cylindrical cavity. *Journal of Soviet Mathematics*, 57 (5), 3417–3420. doi: <https://doi.org/10.1007/bf01880209>
6. Karinski, Y. S., Yankelevsky, D. Z., Antes, M. Y. (2009). Stresses around an underground opening with sharp corners due to non-symmetrical surface load. *Structural Engineering and Mechanics*, 31 (6), 679–696. doi: <https://doi.org/10.12989/sem.2009.31.6.679>
7. Kalentev, E. A. (2018). Stress-strain state of an elastic half-space with a cavity of arbitrary shape. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 13 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s40712-018-0094-x>
8. Gospodarikov, A. P., Zatepin, M. A. (2014). Mathematical modeling of applied problems of rock mechanics and rock massifs. *Zapiski gornogo instituta*, 207, 217–221.
9. Berdennikov, N., Dodonov, P., Zadumov, A., Fedonyuk, N. (2020). Spherical inclusions, their arrangements and effect upon material stresses. *Transactions of the Krylov State Research Centre*, 1 (S-I), 101–107. doi: <https://doi.org/10.24937/2542-2324-2020-1-s-i-101-107>
10. Fesenko, A. A., Moyseenok, A. P. (2020). Exact Solution of a Non-stationary Problem for the Elastic Layer with Rigid Cylindrical Inclusion. *Journal of Mathematical Sciences*, 249 (3), 478–495. doi: <https://doi.org/10.1007/s10958-020-04954-3>
11. Nikolaev, A. G., Protsenko, V. S. (2011). *Obobshchenniy metod Fur'e v prostranstvennykh zadachah teorii uprugosti*. Kharkiv, 344.
12. Protsenko, V. S., Nikolaev, A. G. (1986). Reshenie prostranstvennykh zadach teorii uprugosti s pomosh'yu formul pererazlozheniya. *Prikladnaya mehanika*, 22 (7), 83–89.
13. Nikolaev, A. G., Kurennov, S. S. (2004). The Nonaxisymmetric Contact Thermoelastic Problem for a Half-Space with a Motionless Rigid Spherical Inclusion. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 77 (1), 209–215. doi: <https://doi.org/10.1023/b:joep.0000020741.03468.6e>
14. Nikolaev, A. G., Shcherbakova, Y. A. (2010). Apparatus and applications of a generalized Fourier method for transversally isotropic bodies bounded by a plane and a paraboloid of rotation. *Journal of Mathematical Sciences*, 171 (5), 620–631. doi: <https://doi.org/10.1007/s10958-010-0162-0>
15. Nikolaev, A. G., Tanchik, E. A. (2016). Stresses in an elastic cylinder with cylindrical cavities forming a hexagonal structure. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 57 (6), 1141–1149. doi: <https://doi.org/10.1134/s0021894416060237>
16. Protsenko, V. S., Popova, N. A. (2004). Vtoraya osnovnaya kraevaya zadacha teorii uprugosti dlya poluprostranstva s krugovoy tsilindricheskoy polost'yu. *Dopovidi NAN Ukrainy*, 12, 52–58.
17. Protsenko, V. S., Ukrainets, N. A. (2015). Application of the generalized fourier method to solve the first basic problem of elasticity theory for the semispace with the cylindrical cavity. *Visnyk Zaporizkoho natsionalnoho universytetu. Fizyko-matematychni nauky*, 2, 193–202.
18. Protsenko, V. S., Ukrainets, N. A. (2016). Justification of the Generalized Fourier method for the mixed problem of elasticity theory in the half-space with the cylindrical cavity. *Visnyk Zaporizkoho natsionalnoho universytetu. Fizyko-matematychni nauky*, 2, 213–221.
19. Protsenko, V., Miroshnikov, V. (2018). Investigating a problem from the theory of elasticity for a half-space with cylindrical cavities for which boundary conditions of contact type are assigned. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (7 (94)), 43–50. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.139567>
20. Miroshnikov, V. Y. (2020). Stress State of an Elastic Layer with a Cylindrical Cavity on a Rigid Foundation. *International Applied Mechanics*, 56 (3), 372–381. doi: <https://doi.org/10.1007/s10778-020-01021-x>
21. Erofeenko, V. T. (1989). *Teoremy slozheniya*. Minsk: Nauka i tehnika, 255.
22. Gradshteyn, I. S., Ryzhik, I. M.; Zwillinger, D., Moll, V. (Eds.) (2014). *Table of Integrals, Series, and Products*. Academic Press. doi: <https://doi.org/10.1016/c2010-0-64839-5>
23. Hetnarski, R. B., Ignaczak, J. (2011). *The Mathematical Theory of Elasticity*. CRC Press, 837. doi: <https://doi.org/10.1201/9781439828892>
24. Nikolaev, A. G. (1998). *Obosnovanie metoda Fur'e v osnovnykh kraevykh zadachah teorii uprugosti dlya nekotorykh prostranstvennykh kanonicheskikh oblastey*. *Dopovidi NAN Ukrainy*, 2, 78–83.
25. Muscat, J. (2014). *Functional Analysis: An Introduction to Metric Spaces, Hilbert Spaces, and Banach Algebras*. Springer, 420. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06728-5>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.226697

**DESIGNING A SHOCK TEST SYSTEM PROTOTYPE BASED ON A HYDROELASTIC DRIVE (p. 58–65)****Oleksii Sheremet**Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1298-3617>**Tetiana Kiriienko**Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5076-3119>**Andrii Besh**Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8456-7228>**Kateryna Sheremet**Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3783-5274>

Laboratory shock tests involve the reproduction of simple one-time and repeated pulses of a certain waveform. In practice, such mechanical impacts on an object are implemented at specialized testing equipment – shock systems.

A promising direction in the development of shock machines includes the structures that operate on the energy of elastic deformation of the compressed liquid and the shell of the vessel that contains it. Such systems make it possible to improve the versatility, manageability, and accuracy of impact tests.

Underlying this study is the use of a hydroelastic drive to design a prototype of the automated electro-hydraulic system for a shock test system.

The proposed shock test system prototype makes it possible to expand the functionality of the installations to perform impact tests with a series of pulses, as well as improve manageability and increase the level of automation. The main feature of the proposed structural scheme is that the reconfiguration for a new impact pulse occurs very



quickly. Owing to the presence of a driven rotary drum with braking devices, the bench makes it possible to generate a shock pulse repetition frequency of 1–2 Hz.

The constructed mathematical model of the shock machine takes into consideration the inertia of moving masses, the rigidity of the liquid or “one-way” spring of the charging chamber, as well as the influence of dampers on which the test platform rests. The variables in the mathematical model are linked by differential equations describing two periods within a shock system work cycle: charging and pulse generation. The model’s practical value is to determine the dynamic characteristics of the test installation, as well as to calculate the required structural and technological parameters.

The differential equations describing the movements at the shock machine have been solved in a numerical way. The study results have established the optimal value (in terms of minimizing the overload on an article on the return stroke of the rod) for the damping factor of the braking device, which is 13,000 kg/s. In this setting, the ratio of the amplitude of acceleration on the reverse stroke to the amplitude of effective acceleration during tests is reduced to a minimum of 0.195.

**Keywords:** shock test system, hydroelastic drive, damping factor, impact acceleration.

#### References

- Sisemore, C., Babuska, V. (2020). *The Science and Engineering of Mechanical Shock*. Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, 362. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-12103-7>
- Engel, C., Herald, S., Davis, S., Dean, S. (2006). Mechanical Impact Testing: Data Review and Analysis. *Journal of ASTM International*, 3 (8), 13538. doi: <https://doi.org/10.1520/jai13538>
- Iskovych-Lototskyi, R. D., Obertiukh, R. R., Sevostianov, I. V. (2006). *Protsey ta mashyny vibratsiynykh i vibroudarnykh tekhnolohiy*. Vinnytsia: UNIVERSUM-Vinnytsia, 291.
- Wang, J., Zhang, J. (2019). Research on High-Power and High-Speed Hydraulic Impact Testing Machine for Mine Anti-Impact Support Equipment. *Shock and Vibration*, 2019, 1–12. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/6545980>
- Echevarria, I., Lasa, J., Casado, P., Dominguez, A., Eguizabal, I., Lizeaga, M. et. al. (2015). Test bench for helicopter electro mechanical actuation system validation: Design and validation of dedicated test bench for aeronautical electromechanical actuators. 2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). doi: <https://doi.org/10.1109/icit.2015.7125151>
- Zhao, W., Song, Q., Liu, W., Ahmad, M., Li, Y. (2019). Distributed Electric Powertrain Test Bench With Dynamic Load Controlled by Neuron PI Speed-Tracking Method. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 5 (2), 433–443. doi: <https://doi.org/10.1109/tte.2019.2904652>
- Syrigos, S. P., Karatzaferis, I. C., Tatakis, E. C. (2013). Four-quadrant fully controlled mechanical load simulator. 2013 15th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE). doi: <https://doi.org/10.1109/epe.2013.6634640>
- Song, Q., Liu, W., Zhao, W., Li, Y., Ahmad, M., Zhao, L. (2019). Road Load Simulation Algorithms Evaluation Using A Motor-in-the-loop Test Bench. 2019 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific). doi: <https://doi.org/10.1109/itec-ap.2019.8903852>
- Achour, T., Pietrzak-David, M. (2012). An experimental test bench for a distributed railway traction mechanical load emulator. IECON 2012 - 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society. doi: <https://doi.org/10.1109/iecon.2012.6388725>
- Ruan, J. J., Lockhart, R. A., Janphuang, P., Quintero, A. V., Briand, D., de Rooij, N. (2013). An Automatic Test Bench for Complete Characterization of Vibration-Energy Harvesters. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 62 (11), 2966–2973. doi: <https://doi.org/10.1109/tim.2013.2265452>
- Shuai, Z., Zhaokun, X., Haisong, J. (2011). The Development of a Test Bench for the Dynamic Strength and Durability of Auto Front Axle Rocker. 2011 Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. doi: <https://doi.org/10.1109/icmtma.2011.765>
- Yan, T. (2012). Construction of cylinder head vibration bolts test bench and stress analysis of the bolts. 2012 2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet). doi: <https://doi.org/10.1109/cecn.2012.6201582>
- Chivu, C. (2014). Pneumatic Driving in Material Handling Systems. *Recent*, 15 (3 (43)), 155–159.
- Roganov, L. L. (2011). Sovershenstvovanie tehnologiy i mashin dlya raznyh otrasley mashinostroeniya na osnove razvitiya gidrouprugih i klinosharnirnyh mehanizmov. *Obrabotka materialov davleniem*, 2 (27), 163–168.
- Rohanov, L. L., Rohanov, M. L., Hranovskiy, A. Ye. (2013). Udarni stendy na bazi hidropuzhnoho pryvodu. *Kramatorsk: DDMA*, 161.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.227583

#### ANALYTICAL STUDY OF AUTO-BALANCING WITHIN THE FRAMEWORK OF THE FLAT MODEL OF A ROTOR AND AN AUTO-BALANCER WITH A SINGLE CARGO (p. 66–73)

**Filimonikhin Gennadiy**

Central Ukrainian National Technical University,  
Kropyvnytskyi, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2819-0569>

**Lubov Olijnichenko**

Central Ukrainian National Technical University,  
Kropyvnytskyi, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9351-6265>

**Guntis Strautmanis**

Riga Technical University, Riga, Latvia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8405-939X>

**Antonina Haleeva**

Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8017-3133>

**Vasyl Hruban**

Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0753-565X>

**Olexandr Lysenko**

Central Ukrainian National Technical University,  
Kropyvnytskyi, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3385-1771>

**Mareks Mezitis**

Transport Academy, Ermes, Latvia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0269-7297>

**Ivan Valiavskiy**

Central Ukrainian National Technical University,  
Kropyvnytskyi, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4899-6313>

This paper reports the analytically established conditions for the onset of auto-balancing for the case of a flat rotor model on isotropic elastic-viscous supports and an auto-balancer with a

single load. The rotor is statically unbalanced, the rotation axis is vertical. The auto-balancer has a single cargo – a pendulum, a ball, or a roller. The balancing capacity of the cargo is equal to the rotor imbalance.

The physical-mathematical model of the system is described. The differential equations of motion are recorded in dimensionless form relative to the coordinate system that rotates synchronously with the rotor. The so-called main movement has been found; in it, the cargo synchronously rotates with the rotor and balances it. The differential equations of motion are linearized in the neighborhood of the main movement. A characteristic equation has been constructed. It helped investigate the stability of the main movement (an auto-balancing mode) for the cases of the absence and presence of resistance forces in the system.

It was established that in the absence of resistance forces in the system:

- the rotor has three characteristic rotational speeds, and the first always coincides with the resonance frequency;
- auto-balancing occurs when the rotor rotates at speeds between the first and second ones, and above the third characteristic speed;
- the value of the second and third characteristic speeds is significantly influenced by the ratio of weight to the mass of the system;
- the second and third characteristic speeds monotonously increase with an increase in the ratio of cargo weight to the mass of the system.

Resistance forces significantly affect both the values of the second and third characteristic speeds and the conditions of their existence. Small resistance forces do not change the quality behavior of the system. With high resistance forces, the number of characteristic speeds decreases to one.

The paper reports the results applicable to an auto-balancer with many cargoes when it balances the imbalance that equals the balancing capacity of the auto-balancer.

**Keywords:** passive auto-balancer, rotor, automatic balancing, static balancing, motion stability, static imbalance.

## References

1. Thearle, E. L. (1950). Automatic dynamic balancers (Part 2 – Ring, pendulum, ball balancers). *Machine Design*, 22 (10), 103–106.
2. Muzhniek, A. I. (1959). Nekotorye voprosy teorii avtomaticheskoy dinamicheskoy balansirovki. *Voprosy dinamiki i prochnosti*, 6, 123–145.
3. Blehman, I. I. (1981). *Sinhronizatsiya v prirode i tehnike*. Moscow: Nauka, 352.
4. Detinko, F. M. (1956). Ob ustoychivosti raboty avtobalansira dlya dinamicheskoy balansirovki. *Izv. AN SSSR. OTN. Mehanika i mashinostroenie*, 4, 38–45.
5. Artyunin, A. I. (1993). Issledovanie dvizheniya rotora s avtobalansirovom. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedeniy. Mashinostroenie*, 1, 15–19.
6. Sommerfeld, A. (1904). Beitrage zum dynamischen Ausbayer der Festigkeitslehre. *Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure*, 48 (18), 631–636.
7. Filimonikhin, G. (1996). K ustoychivosti osnovnogo dvizheniya dvuhmayatnikovogo avtobalansira. *Dopovidi Natsionalnoi akademiyi nauk Ukrainy*, 8, 74–78. Available at: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/6796>
8. Green, K., Champneys, A. R., Lieven, N. J. (2006). Bifurcation analysis of an automatic dynamic balancing mechanism for eccentric rotors. *Journal of Sound and Vibration*, 291 (3-5), 861–881. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2005.06.042>
9. Bogdevicius, M., Janutėnienė, J. (2010). Influence of Dynamic Viscosity on Automatic Dynamic Balance. *Solid State Phenomena*, 164, 127–132. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.164.127>
10. Artyunin, A. I., Eliseyev, S. V. (2013). Effect of “Crawling” and Peculiarities of Motion of a Rotor with Pendular Self-Balancers. *Applied Mechanics and Materials*, 373-375, 38–42. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.373-375.38>
11. Lu, C.-J., Tien, M.-H. (2012). Pure-rotary periodic motions of a planar two-ball auto-balancer system. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 32, 251–268. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2012.06.001>
12. Gorbenko, A. N. (2003). On the Stability of Self-Balancing of a Rotor with the Help of Balls. *Strength of Materials*, 35, 305–312. doi: <http://doi.org/10.1023/a:1024621023821>
13. Filimonikhin, G. (2004). Zrivnovazhennia i vibrozakhyst rotoriv avtobalansyramy z tverdymy koryhuvalnymy vantazhamy. *Kirovohrad: KNTU*, 352.
14. Artyunin, A. I., Barsukov, S. V., Sumenkov, O. Y. (2019). Peculiarities of Motion of Pendulum on Mechanical System Engine Rotating Shaft. *Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019)*, 649–657. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22041-9\\_70](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22041-9_70)
15. Filimonikhin, G., Yatsun, V., Filimonikhina, I., Ienina, I., Munshtukov, I. (2019). Studying the load jam modes within the framework of a flat model of the rotor with an autobalancer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (101)), 51–61. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.177418>
16. Strauch, D. (2009). *Classical Mechanics: An Introduction*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 405. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-73616-5>
17. Ruelle, D. (1989). *Elements of Differentiable Dynamics and Bifurcation Theory*. Academic Press. doi: <https://doi.org/10.1016/c2013-0-11426-2>
18. Nayfeh, A. H. (1993). *Introduction to Perturbation Techniques*. John Wiley & Sons, Inc., 533.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229032

## THEORETICAL STUDY OF THE GRATE-SAW-TYPE LARGE-LITTER CLEANER OF THE MOUNTED TYPE (p. 74–84)

**Karimov Husnu Kadir**

University of Technology of Azerbaijan (UTECA), Ganja, Azerbaijan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1460-9154>

**Mustafayeva Esmira**

Azerbaijan State Economic University (UNEC), Baku, Azerbaijan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4700-3933>

**Jafarov Elman**

Azerbaijan State Economic University (UNEC), Baku, Azerbaijan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1067-8061>

**Safarova Terane**

Azerbaijan State Economic University (UNEC), Baku, Azerbaijan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9595-1479>

**Veliev Fazil**

Azerbaijan State Economic University (UNEC), Baku, Azerbaijan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2607-2091>

This paper reports a theoretical study into the saw-type-grate section of a large litter cleaner in mounted cleaners that operate on a cotton harvester, as well as the theoretical and experimental justifications for its parameters. The effect exerted by a mounted cleaner on the process of cleaning raw cotton when processing in a cotton gin has been studied.

A theoretical model of the impact of grates on weeds in cleaning processes has been developed. A condition for repelling the litter by grates and removing it from a cotton technological flow has been studied. The use of grates with a flat-shaped front edge allows for a steady reduction in the amount of damage in the raw cotton fiber, which improves the fiber quality and leads to a decrease in the number of defects and debris.

The experimental and theoretical studies have produced evidence that enables the efficient operation of mounted-type cleaning machines in the cotton-cleaning industry.

The movements of raw cotton as a viscoelastic body at the free impact of litter with the teeth of the saw against a stationary surface of the grate were investigated; the force schemes between the grates and saws were considered. The effect of a saw-type drum on the technological properties of raw cotton was investigated, namely on seed damage and the formation of the free fiber.

A model of interaction between weed particles and grates was considered; the trajectories of the litter flight were shown in the function of the slope of the grate and the recovery factor.

The issues of the relationship between the physical-mechanical properties of raw cotton, the elastic characteristics of raw cotton, and the impact force of cotton flies against the grate with a flat working face. Solving these issues could make it possible to determine the optimal structure of the raw cotton cleaning mechanisms, which would improve the effectiveness of cleaning raw cotton from weeds.

Based on the identified functional links, it has become possible to construct new or improve existing structures of the saw-type grate section of mounted cleaners. Practical experience shows that the use of the designed structure in large litter cleaners of the mounted type produces a significant increase in the cleaning effect of the machine.

**Keywords:** mounted cleaner, large litter, grate, seed damage, free fiber, cleaning effect.

## References

1. Tyutin, P. N., Lugachev, L. E. (1997). O vydelenii sornykh primesey cherez yacheyki setchatykh poverhnostey. Sbornik trudov TITLP "Mekhanicheskaya tekhnologiya voloknistykh materialov", 19, 51–58.
2. Matusiak, M., Walawska, A. (2010). Important Aspects of Cotton Colour Measurement. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, 18 (3 (80)), 17–23.
3. Boldinskiy, G. I., Samandarov, S. A., Benenson, A. L. (1974). Vybory formy kolkov v ochistitelyakh melkogo sora. Hlopkovaya promyshlennost', 1, 16–17.
4. Baker, R. V., Stedronsky, V. L. (1998). Seed cotton and cottonseed handling with air yet conveyers. U. S. Department of agriculture, 18.
5. Korabel'nikov, R. V., Ibrogimov, H. I. (2008). Kompleksnyy pokazatel' vozdeystviya ochistitelya hlopka na hlopok-syrets v protsesse ochistki. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti, 3, 35–38.
6. Mirochnichenko, G. I., Korabelnikov, R. V., Jakubov, D., Tjutin, P. N. Pat. No. 1.475.448. Great Britain and Northern Ireland.
7. Shaw, G. S., Franks, S. N. (1994). Hand book for cotton Gunners. Washington, 28–32.
8. Hafizov, I. K., Rasulov, A. (2009). Issledovanie razryhlitel'nogo efekta razdelitelya domlek tonkovoloknistogo hlopka-syrtsa na letuchki. Hlopkovaya promyshlennost', 3, 9–21.
9. Sapon, A. L., Samandarov, S. A., Libster, S. L. (2007). Potochnaya liniya pervichnoy pererabotki hlopka-syrtsa PLPH. Hlopkovaya promyshlennost', 3, 1–3.
10. Ibrogimov, H. I., Korabel'nikov, R. V. (2009). Osobennosti vzaimodeystviya kolkov rabochego barabana ochistitelya s chas-titsami hlopka-syrtsa, imeyushchimi voloknistye svyazi, pri netsentral'nom udare. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti, 2, 16–19. Available at: [https://tftp.ivgpi.com/wp-content/uploads/2015/11/314\\_6.pdf](https://tftp.ivgpi.com/wp-content/uploads/2015/11/314_6.pdf)
11. Lebedev, D. A., Petrov, A. A. (2013). Model impacts on weed admixture in the process of cleaning fiber. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti, 3, 115–119.
12. Khakimov, Sh. Sh. (2015). Theoretical studies of the motion of raw cotton the gaps between the grate fixing and serated drum. European applied sciences, 11, 63–66.
13. Lin, H., Akankwasa, N. T., Wang, J., Zhang, C. (2019). Simulation of the Effect of Geometric Parameters of the Fibre Transport Channel in Open-End Rotor Spinning. Fibres and Textiles in Eastern Europe, 27 (2 (134)), 52–57. doi: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.9987>
14. Wang, L., Parnell, C. B., Shaw, B. W. (2002). Performance Characteristics of Cyclones in Cotton-Gin Dust Removal. Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development, IV. Available at: <https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/10269/BC%2002%20001.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229447

## DESIGN OF IMPACT DAMPERS FOR TRANSPORTING CARGOES BY TWO-LINK VEHICLES (p. 85–94)

Ihor Vikovych

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0281-158X>

Ljubomyr Krainyk

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0524-9126>

Roman Zinko

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3275-8188>

Vitalij Popovych

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3097-5111>

Orest Horbai

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0915-5637>

This paper considers the influence of the transitional modes of movement (acceleration, braking) of a multi-link vehicle on the vibration protection of transported non-fixed or partially fixed cargoes. The impact phenomenon, in this case, can be strengthened by the existence of coupling mechanisms between the links of a multi-link vehicle. To reduce such horizontal impact loads, it is advisable to use elements with viscoelastic damping in the coupling devices of a multi-link vehicle. To study the actual impact phenomena during the transportation of non-fixed or partially fixed cargoes under the extreme modes of movement of two-link vehicles, it is proposed to use a flat two- and three-mass dynamic model with viscoelastic damping. At the same time, the theory of elastic impact has been applied while the elastic-damping characteristics of vehicles' suspensions were not taken into consideration.

It has been shown that the reported research results make it possible to estimate the approximate values of the mechanical parameters for restrictive devices that protect non-fixed or partially fixed cargoes from impact, during the transition modes of transportation, depending on the conditions of motion.

This practically makes it possible to select the rational design parameters for the elements of viscoelastic restrictive devices, in particular elastic elements and dampers, in order to reduce impact loads

on non-fixed heavy cargoes during transportation under extreme modes of movement.

Based on this study, a procedure of vibration protection of non-fixed or partially fixed cargoes in the body of a two-link vehicle during its uneven movement has been proposed, which implies determining the maximum dynamic loads on these cargoes as well as the possibility of choosing the rational design parameters for restrictive devices in order to prevent or reduce the impact of these cargoes hitting the restrictive devices.

**Keywords:** transportation, cargo, multi-link vehicle, estimation scheme, extreme mode, impact, vibration protection, differential equations.

## References

- Vikovich, I. A. (1981). Ob odnom sluchae uprugogo udara. Ukr. NIINTI No. 2667. Kyiv, 11.
- Clark, R. A., Dean, P. A., Elkins, J. A., Newton, S. G. (1982). An Investigation into the Dynamic Effects of Railway Vehicles Running on Corrugated Rails. *Journal of Mechanical Engineering Science*, 24 (2), 65–76. doi: [https://doi.org/10.1243/jmes\\_jour\\_1982\\_024\\_015\\_02](https://doi.org/10.1243/jmes_jour_1982_024_015_02)
- Kutsenko, L., Vanin, V., Shoman, O., Yablonskiy, P., Zapolskiy, L., Hrytsyna, N. et. al. (2019). Modeling the resonance of a swinging spring based on the synthesis of a motion trajectory of its load. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (99)), 53–64. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.168909>
- Cherevko, Yu. M., Vikovych, I. A., Lozovyi, I. S. (2007). Pruzhniy udar nezakriplenoho vantazhu pry yoho transportuvanni. *Systemy ozbroiennia i viyskova tekhnika*, 4 (12), 48–53.
- Shuklinov, S., Leontiev, D., Makarov, V., Verbitskiy, V., Hubin, A. (2021). Theoretical Studies of the Rectilinear Motion of the Axis of the Locked Wheel After Braking the Vehicle on the Uphill. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 69–81. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58124-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58124-4_7)
- Ibrahim, R. A. (1994). Friction-Induced Vibration, Chatter, Squeal, and Chaos – Part II: Dynamics and Modeling. *Applied Mechanics Reviews*, 47 (7), 227–253. doi: <https://doi.org/10.1115/1.3111080>
- Savel'ev, Yu. F. (2003). Metod effektivnoy vibrozashchity podvizhnogo sostava i ekipazha na osnove dopolnitel'nykh mekhanicheskikh ustroystv so znakoperemennoy uprugost'yu. Omsk: Omskiy gos. un-t putey soobscheniya, 107.
- Al'gin, V. B., Dzyun', V. A., Pavlovskiy, V. Ya., Tsitovich, I. S. (1983). A.S. No. 1047761 SSSR. Ustroystvo dlya krepleniya kuzova transportnogo sredstva na ego rame. Publ. v B.I. No. 38.
- Zinko, R. V., Kraynik, L. V., Gorbay, O. Z. (2019). Basics of constructive synthesis and dynamics of special cars and technological machines. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 344.
- Awrejcewicz, J. (2012). *Classical Mechanics: Kinematics and Statics*. Springer, 440. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3791-8>
- Lam, K. S. (2014). *Fundamental Principles Of Classical Mechanics: A Geometrical Perspective*. World Scientific Publishing Co Pte Ltd, 592. doi: <https://doi.org/10.1142/8947>
- Kaewunruen, S., Remennikov, A. M. (2009). Progressive failure of prestressed concrete sleepers under multiple high-intensity impact loads. *Engineering Structures*, 31 (10), 2460–2473. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.06.002>
- Zaremski, A., Bell, J. G. (2002). Limiting the Effects of High-speed Dynamic Forces on Track Structure. *TR News*, 25–26.
- Limebeer, D. J. N., Massaro, M. (2018). *Dynamics and Optimal Control of Road Vehicles*. Oxford University Press. doi: <https://doi.org/10.1093/oso/9780198825715.001.0001>
- Cossalter, V., Doria, A., Pegoraro, R., Trombetta, L. (2010). On the non-linear behaviour of motorcycle shock absorbers. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 224 (1), 15–27. doi: <https://doi.org/10.1243/09544070jauto1273>
- Veyts, V. L., Vasil'kov, D. V. et. al. (2003). *Dinamika privodov tehnologicheskikh mashin s samotormozyaschimisiya mekhanizmami*. Sankt-Peterburg: Izd-vo SPb IMASH, 162.
- Veyts, V. L., Shneerson, E. Z. (2000). Ob odnoy obobschennoy modeli udarnogo vzaimodeystviya v samotormozyascheysya sisteme. *Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin*, 1, 16–22.
- Foutch, D. A., Kim, T.-W., Otter, D. E., Doe, B. E. (2006). Investigation of Longitudinal Forces in a Concrete Railroad Trestle. *Journal of Bridge Engineering*, 11 (5), 618–625. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1084-0702\(2006\)11:5\(618\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1084-0702(2006)11:5(618))
- Kaewunruen, S., Remennikov, A. M. (2010). Dynamic properties of railway track and its components: recent findings and future research direction. *Insight - Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, 52 (1), 20–22. doi: <https://doi.org/10.1784/insi.2010.52.1.20>
- Shneerson, E. Z. (2015). O stesnennykh udarnykh vzaimodeystviyah v suschestvenno nelineynykh dinamicheskikh sistemah. *Tr. XVIII Mezhd. simpoz. «Dinamika vibroudarnykh (sil'no nelineynykh) sistem»*. Moscow: IMASH RAN, 311–315.
- Ling, X., Tao, J., Li, B., Qin, C., Liu, C. (2019). A Multi-Physics Modeling-Based Vibration Prediction Method for Switched Reluctance Motors. *Applied Sciences*, 9 (21), 4544. doi: <https://doi.org/10.3390/app9214544>
- Huang, J., Zhang, A., Sun, H., Shi, S., Li, H., Wen, B. (2018). Bifurcation and Stability Analyses on Stick-Slip Vibrations of Deep Hole Drilling with State-Dependent Delay. *Applied Sciences*, 8 (5), 758. doi: <https://doi.org/10.3390/app8050758>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.220534

### ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ З ФАКТИЧНИМИ РОЗМІРАМИ (с. 6–14)

О. В. Фомін, А. О. Ловська

Проведено визначення динамічної навантаженості несучих конструкцій основних типів вантажних вагонів з фактичними розмірами при основних експлуатаційних режимах. Інерційні коефіцієнти несучих конструкцій вагонів визначені шляхом побудови їх просторових моделей в програмному комплексі SolidWorks. До уваги прийнято два випадки навантаженості несучих конструкцій вагонів – у вертикальній та поєздовжній площинах. Дослідження проведені в плоскій системі координат. При моделюванні вертикальної навантаженості несучих конструкцій вагонів враховано, що вони рухаються у порожньому стані стиковою нерівністю пружно-в'язкою колією. Несучі конструкції вагонів опираються на візки моделей 18-100. Розв'язок диференціальних рівнянь руху здійснений за методом Рунге-Кутта в програмному комплексі MathCad. При визначенні поєздовжньої навантаженості несучих конструкцій вагонів розрахунок проведений для випадку маневрового співударяння вагонів або "ривка" (вагон-цистерна). Визначені прискорення, які діють на несучі конструкції вагонів.

Результати досліджень сприятимуть визначенню можливості подовження експлуатації несучих конструкцій вантажних вагонів, які вичерпали свій нормативний строк служби.

Встановлено, що показники динаміки несучих конструкцій вантажних вагонів з фактичними розмірами конструкційних елементів знаходяться в межах допустимих. Так, для напіввагона вертикальне прискорення несучої конструкції складало 4,87 м/с<sup>2</sup>, для критого вагона – 5,5 м/с<sup>2</sup>, для вагона-платформи – 5,8 м/с<sup>2</sup>, для вагона-цистерни – 4,25 м/с<sup>2</sup>, для вагона-хопера – 4,5 м/с<sup>2</sup>. Поєздовжнє прискорення, яке діє на несучу конструкцію напіввагона, дорівнює 38,25 м/с<sup>2</sup>, для критого вагона – 38,6 м/с<sup>2</sup>, для вагона-платформи – 38,9 м/с<sup>2</sup>, для вагона-цистерни – 27,4 м/с<sup>2</sup>, для вагона-хопера – 38,5 м/с<sup>2</sup>. Це дозволяє розробити концептуальні засади для відновлення ефективного функціонування застарілих вантажних вагонів.

Проведені дослідження будуть корисними напрацюваннями для уточнення існуючих методик щодо подовження строку експлуатації несучих конструкцій вантажних вагонів, які вичерпали свій нормативний ресурс.

**Ключові слова:** вантажний вагон, несуча конструкція, динамічна навантаженість, моделювання навантаженості, динамічні показники, ресурс експлуатації, залізничний транспорт, транспортна механіка.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.219928

### РОЗРОБКА ШАСІ ЕЛЕКТРОБУСА МЕТОДОМ ЗВОРОТНОГО ІНЖИНІРИНГУ З ВИКОРИСТАННЯМ СТАТИЧНОГО АНАЛІЗУ (с. 15–22)

Nazaruddin, Mohammad Adhitya, Danardono A Sumarsono, Ghany Heryana, Rolan Siregar, Sonki Prasetya, Fuad Zainuri

Дане дослідження спрямоване на моделювання конструкційної сталі 400 (SS400) в якості альтернативного матеріалу для конструкції шасі електробуса. Видом матеріалу є низьковуглецева сталь. SS400 виробляється на одному з найбільших сталеливарних заводів Індонезії і вважається місцевим матеріалом. Існує можливість поліпшення місцевого матеріалу, що використовується для збільшення загального місцевого вмісту в електромобілях в Індонезії. Як правило, для збільшення місцевого вмісту в електромобілях використовується метод зворотного інжинірингу шасі з рамою сходового типу R260. Однак в даному дослідженні для виконання місцевого вмісту в шасі електробуса методом зворотного інжинірингу була використана сходовая рама типу SS400 з місцевого матеріалу. Після успішного створення моделі за допомогою програмного забезпечення методу скінчених елементів був проведений статичний аналіз з використанням напруги по Мізесу і прогину результатів моделювання. Процес зачеплення конструкції шасі здійснюється з урахуванням забезпечення глобального контакту. Навантаження здійснювалося рівномірно по двох головних балкових сходових рам загальною масою 14200 кг. Значення модуля пружності і міцності на розрив матеріалу складають 190 ГПа і 480 МПа. Крім того, була встановлена опора в положенні установки листових ресор передніх і задніх коліс при передньому, задньому звисі і колісній базі 2380 мм, 3290 мм і 6000 мм. Отриманий підхід був здійснений з використанням балкової моделі з двовісною балочною моделлю. Результати моделювання показали, що SS400 з місцевого матеріалу має максимальне значення напруги по Мізесу 75,8 МПа, прогин 2,568 мм і найменший коефіцієнт запасу міцності 3,2. Тим часом, згідно з теоретичними розрахунками отримана напруга складала 72,33 МПа, прогин – 2,594. Між результатами моделювання та теоретичними результатами суттєвої різниці немає.

**Ключові слова:** шасі, сходовая рама, напруга по Мізесу, низьковуглецева сталь, електромобіль.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.228960

### КОМПЛЕКСНА МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ МОСТІВ ПРИ ДІЇ ЗМІННИХ ТЕМПЕРАТУР НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА (с. 23–30)

В. В. Ковальчук, А. М. Онищенко, О. В. Федоренко, М. М. Габрель, Б. З. Парнета, О. М. Возняк, Р. В. Маркуль, М. Б. Парнета, Р. Т. Рибак

Проведено натурні експериментальні вимірювання розподілу температури на поверхнях сталезалізобетонних балок мостів при дії додатних та від'ємних температур навколишнього середовища. Встановлено, що температура розподіляється нерівномірно у вертикальному напрямі сталезалізобетонної балки моста.

Встановлено, що вищі значення температури має металева балка. Максимальна зафіксована різниця температур між металевою балкою та залізобетонною плитою при додатних температурах навколишнього середовища склала  $+9,0$  °С, а мінімальна різниця температур склала  $-2,1$  °С.

Удосконалено математичні моделі розрахунку температурного поля та термонапруженого стану сталезалізобетонних балок мостів при дії змінних кліматичних температурних перепадів навколишнього середовища із врахуванням нерівномірного розподілу температури сталезалізобетонною балкою моста. Встановлено, що у якості розрахункових схем визначення термонапруженого стану сталезалізобетонних мостів можна розглядати одновимірну задачу, або застосовувати тривимірні розрахункові схеми задачі.

Проведено визначення температурного поля та напруженого стану сталезалізобетонних балок мостів. Встановлено, що максимальні напруження виникають у місці об'єднання металевої балки із залізобетонною плитою. Величина цих напружень складає  $73,4$  МПа при додатних температурах і  $69,3$  МПа при від'ємних температурах навколишнього середовища.

Величина напружень становить до 35 % від допустимих значень напружень. Загальний напружено-деформований стан сталезалізобетонних балок моста слід оцінювати при сумісній дії температурних кліматичних впливів і навантажень від рухомих одиниць транспортних засобів.

**Ключові слова:** автодорожний міст, сталезалізобетонна балка, температурні поля, температурні напруження, температура навколишнього середовища.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229213

### РОЗРОБКА МЕТОДИКИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ОБИЧАЙКИ ПРИВІДНОГО БАРАБАНА СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА З МЕТОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ ЙОГО КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ (с. 31–39)

Olzhas Jassinbekov, Madina Isametova, Gabit Kaldan

У статті розглядається метод комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану обичайки приводного барабана в інтегрованому середовищі NASTRAN. У зв'язку зі складністю визначення напружень і деформацій в секціях барабана аналітичним методом пропонується вирішити цю важливу задачу чисельним методом скінчених елементів. На попередньому етапі комп'ютерного моделювання була розроблена механічна розрахункова схема, що включає змінний тиск, що змінюється в залежності від кута повороту барабана, детерміновані співвідношення, що описують змінні коефіцієнти зусиль, засновані на співвідношенні Ейлера. Також пропонується враховувати тиск від змінної сили тертя, яка залежить від змінного коефіцієнта зчеплення стрічки з барабаном.

В результаті комп'ютерного розрахунку були визначені еквівалентні напруження по Мізесу  $65$  МПа, коефіцієнт запасу міцності  $4,2$  і компоненти дотичних напружень з використанням маркера тензора напружень, напруження зсуву досягло рівня  $\tau=16$  МПа для тканинної стрічки і  $\tau=3,14$  МПа для гумової стрічки. За результатами розрахунку побудована залежність дотичних напружень від кута повороту барабана. Побудована діаграма зміни складової дотичних напружень по формуючій обичайці барабана.

Аналіз напружено-деформованого стану дозволив визначити коефіцієнт запасу міцності обичайки барабана. На основі аналізу еквівалентних напружень пропонується додатково розрахувати довговічність барабана методом тривалої втоми. Комп'ютерний розрахунок зсувних напружень в компоненті дозволяє вибрати раціональні параметри футеровки виходячи з таких показників, як міцність на відрив і розрив, а також визначити кут  $61^\circ$  плиткової футеровки, необхідний для підвищення надійності і тягового зусилля при протягуванні трубопроводу.

**Ключові слова:** конвеєрна стрічка, довговічність, приводний барабан, напруження, деформація, метод кінцевих елементів, футеровка.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.228862

### ВДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМУ ПІДБОРУ КРОКУ ТА КІЛЬКОСТІ ЖОРСТКИХ УПОРІВ ВІД ЗОСЕРЕДЖЕНОЇ СИЛИ В СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛКАХ (с. 40–47)

А. М. Петров, Анд. П. Палій, А. О. Науменко, С. Ю. Шептун, М. І. Ігнатенко, І. А. Височин, Я. В. Кононенко, О. В. Юрченко, Т. В. Деділова, А. П. Палій

Об'єктом дослідження є сталобетонна балка. Уточнено алгоритм підбору кількості жорстких упорів для балки зі сталобетону, яка навантажена поперечною зосередженою силою посередині прольоту. Жорсткі упори служать для з'єднання сталевієї смуги з бетоном, що забезпечує їх сумісну роботу. Алгоритм уточнено, виходячи з умови рівності повздовжньої сили в сталевій смугі від дії розрахункового навантаження і максимальної повздовжньої сили, що отримана після встановлення упорів. При цьому повздовжні зусилля в усіх жорстких упорах, а також крок жорстких упорів, повинні бути однаковими.

Недоліком відомого алгоритму є складність визначення коефіцієнту, який враховує вплив тривалої повзучості бетону на деформації елементу без тріщин  $\phi_{b2}$ . Цей коефіцієнт коливається в значних межах, і залежить від багатьох факторів, а також досліджений недостатньо.

Проведено розрахунки визначення кількості та кроку жорстких упорів в сталобетонних балках. Розрахунки було проведено за запропонованим алгоритмом та в програмному комплексі «Ліра». Зусилля, діючі на упори, та крок упорів однакові. Величина зусилля в упорі дорівнює  $8941,5$  Н. При підборі характеристик сталобетонної балки було отримано максимальне повздовжнє зусилля в смугі. Величина повздовжньої сили  $35726$  Н. Таку ж саме повздовжню силу було отримано за епурою повздовжніх сил, що отримана після встановлення упорів.

Це дослідження спрямовано на вдосконалення конструкції сталобетонних балок. Раціональна кількість і розташування жорстких упорів призведе до економії, як до зменшення необхідної кількості будівельних матеріалів, так і до зниження їх вартості за рахунок зменшення витрат праці, пов'язаних з їх виготовленням та експлуатацією.

**Ключові слова:** сталобетонна балка, жорсткий упор, крок упорів, зусилля в упорі, приведена жорсткість, графо-аналітичний метод.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229428

**РОЗВ'ЯЗАННЯ ОДНІЄЇ МІШАНОЇ ЗАДАЧІ ТЕОРІЇ ПРУЖНОСТІ ДЛЯ ПІВПРОСТОРУ З ЦИЛІНДРИЧНОЇ ПОРОЖНИНОЮ УЗАГАЛЬНЕНИМ МЕТОДОМ ФУР'Є (с. 48–57)**

Н. А. Українець, О. А. Мураховська, О. М. Прохорова

При проектуванні і будівництві підземних споруд різного призначення, таких як тунелі, шахти, гірничі виробки, виникає необхідність в створенні методик розрахунку їх міцності і надійності. Фізичною моделлю таких об'єктів можна вважати однорідний ізотропний напівпростір, що містить нескінченно довгий порожній циліндр, розташований паралельно до його границі. Для такого багатозв'язного тіла можна досліджувати задачі механіки деформівного твердого тіла.

Наведено доказ теорем додавання базисних розв'язків рівняння Ламе для півпростору і циліндра, записаних відповідно в декартовій та циліндричній системах координат. Цей результат є важливим з теоретичної точки зору для обґрунтування чисельно-аналітичного методу – узагальненого методу Фур'є. Цей метод дозволяє розв'язувати просторові крайові задачі теорії пружності та термопружності для ізотропних та трансверсально-ізотропних багатозв'язних тіл. Як і в класичному методі Фур'є, тут використовуються загальні розв'язки рівнянь рівноваги, але не в одній, а в декількох системах координат.

З практичної точки зору цей метод дозволив дослідити мішану задачу теорії пружності в описаному вище багатозв'язному тілі. Проведений аналіз напружено-деформівного стану цього пружного тіла дозволив зробити висновки про визначення областей, які є найбільш уразливими для руйнування. Найбільші значення приймають нормальні напруження в області між границями півпростору і циліндра. Зміна компоненти  $\sigma_y$  по осі  $Ox$  відповідає заданим на півпросторі переміщенням. Компонента  $\tau_{xy}$  вносить менший внесок в розподіл напружень, ніж  $\sigma_x$  та  $\sigma_y$ . Прикладним аспектом використання отриманих результатів є можливість їх застосування при проектуванні підземних споруд.

**Ключові слова:** теореми додавання, рівняння Ламе, узагальнений метод Фур'є, напівпростір, циліндрична порожнина.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.226697

**РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ УДАРНОГО ВИПРОБУВАЛЬНОГО СТЕНДУ НА БАЗІ ГІДРОПРУЖНОГО ПРИВОДУ (с. 58–65)**

О. І. Шеремет, Т. В. Кірієнко, А. М. Беш, К. С. Шеремет

Лабораторні ударні випробування передбачають відтворення простих одиночних і багаторазово повторюваних імпульсів певної форми. На практиці такі механічні дії на об'єкт формуються за допомогою спеціального випробувального устаткування – ударних стендів.

Перспективним напрямком розвитку ударних стендів є конструкції, що працюють на основі енергії пружної деформації стиснутої рідини і оболонки посудини, в якій вона знаходиться. Такі стенди дозволяють підвищити універсальність, керованість та точність ударних випробувань.

Дослідження базується на застосуванні гідропружного приводу для створення прототипу автоматизованої електрогідравлічної системи ударного випробувального стенду.

Запропонований прототип ударного випробувального стенду дозволяє розширити функціональні можливості установок для виконання ударних випробувань серіями імпульсів, а також поліпшити керованість і підвищити рівень автоматизації. Головна особливість запропонованої конструктивної схеми полягає в тому, що переналаштування на новий ударний імпульс відбувається дуже оперативно. Завдяки наявності приводного поворотного барабана з гальмівними пристроями, стенд дозволяє отримати частоту проходження ударних імпульсів 1–2 Гц.

Розроблена математична модель ударного стенда враховує інерційність рухомих мас, жорсткість рідинної або «односторонньої» пружини зарядної камери, а також вплив демпферів, на які спирається випробувальна платформа. Змінні, що входять до математичної моделі, пов'язані між собою за допомогою диференціальних рівнянь, які описують два періоди робочого циклу ударного стенда: зарядки та формування імпульсу. Практична цінність моделі полягає у визначенні динамічних характеристик випробувальної установки, а також обчисленні необхідних конструктивних та технологічних параметрів.

Диференціальні рівняння, що описують рух ударного стенда, вирішені чисельним способом. За результатами досліджень визначено оптимальне (з позиції мінімізації перевантаження виробу на зворотному ході штока) значення коефіцієнта демпфування для гальмівного пристрою, яке становить 13000 кг/с. При такому налаштуванні відношення амплітуди прискорення на зворотному ході до амплітуди ефективного прискорення під час випробувань зводиться до мінімуму – 0,195.

**Ключові слова:** ударний випробувальний стенд, гідропружний привод, коефіцієнт демпфування, ударне прискорення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.227583

**АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОБАЛАНСУВАННЯ У РАМКАХ ПЛОСКОЇ МОДЕЛІ РОТОРА І АВТОБАЛАНСИРА З ОДНИМ ВАНТАЖЕМ (с. 66–73)**

Г. Б. Філімоніхін, Л. С. Олійніченко, Guntis Strautmanis, А. П. Галєєва, В. А. Грубань, О. В. Лисенко, Mareks Mezitis, І. А. Валявський

Аналітично знайдені умови настання автобалансування у рамках плоскої моделі ротора на ізотропних пружно-в'язких опорах і автобалансира з одним вантажем. Ротор статично незрівноважений, вісь обертання – вертикальна. Автобалансира має один вантаж – маятник, кулю чи ролик. Балансувальна ємність вантажу дорівнює незрівноваженості ротора.

Описана фізико-математична модель системи. Записані диференціальні рівняння руху у безрозмірному вигляді щодо системи координат, що синхронно обертається з ротором. Знайдений так званий основний рух – у ньому вантаж синхронно обертається разом з ротором і балансує його. Диференціальні рівняння руху лінеаризовані в околі основного руху. Складене характеристичне рівняння. По ньому досліджена стійкість основного руху (режиму автобалансування) у випадках відсутності і наявності сил опору в системі.

Встановлено, що за відсутністю сил опору в системі:

– у ротора існують три характерні швидкості обертання, причому перша завжди співпадає з резонансною частотою;  
– автобалансування настає при обертанні ротора з швидкостями, що знаходяться між першою і другою, та над третьою характерними швидкостями;

- на величини другої і третьої характерних швидкостей істотно впливає співвідношення маси вантажу до маси системи;
- друга і третя характерні швидкості монотонно зростають із зростанням відношення маси вантажу до маси системи.

Сили опору істотно впливають як на величини другої і третьої характерної швидкостей, так і на умови їх існування. Малі сили опору не змінюють якісної поведінки системи. При великих силах опору кількість характерних швидкостей зменшується до однієї.

Одержані результати застосовні для автобалансира з багатьма вантажами, коли він балансує незрівноваженість, що дорівнює балансувальній ємності автобалансира.

**Ключові слова:** пасивний автобалансир, ротор, автоматичне балансування, статичне балансування, стійкість руху, статична незрівноваженість.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229032**

## **ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛОСНИКОВО-ПИЛЬЧАТОГО ОЧИЩУВАЧА ВЕЛИКОГО СМІТТЯ НАВІСНОГО ТИПУ (с. 74–84)**

**Husnu Karimov, Esmira Mustafayeva, Elman Jafarov, Terane Safarova, Fazil Veliev**

Проведено теоретичне дослідження пильчато-колосникової секції очищувача габаритного сміття в навісних очисниках, що функціонує на бавовнозбиральній машині, теоретичні та експериментальні обґрунтування його параметрів. Вивчено вплив навісного очищувача на технологічний процес очищення бавовни-сирцю при переробці на хлопкозаводі.

Розроблено теоретичну модель впливу колосників на сміттєві домішки в очисних процесах. Вивчено умову відображення сміття колосниками та виведення його з технологічного потоку бавовни. Застосування колосників плоскої форми передньої грані забезпечує стійке зниження кількості пошкоджень у волокні бавовни-сирцю, що підвищує якість волокна та призводить до зниження суми вад і засміченості.

В результаті експериментальних і теоретичних досліджень отримані дані, які дозволяють організувати ефективну роботу очисних машин навісного типу в хлопкоочисній промисловості.

Досліджено рух бавовни-сирцю як пружно-в'язкого тіла при вільному ударі сміття зубами пилки об нерухому поверхню колосника, розглянуті силові схеми між колосниками та пилами. Розглянуто вплив пильчатого барабана на технологічні властивості бавовни-сирцю, а саме на пошкодженість насіння та утворення вільного волокна.

Розглянуто модель взаємодії засмічених частинок з колосниками, показані траєкторії польоту сміття в функції нахилу колосника та коефіцієнта відновлення.

Досліджено питання взаємозв'язку фізико-механічних властивостей бавовни-сирцю, пружних характеристик бавовни-сирцю та сили удару летючки об колосник з плоскою робочою гранню. Вирішення цих питань дасть можливість знайти оптимальну конструкцію механізмів очищення бавовни-сирцю, що призведе до підвищення ефекту очищення бавовни-сирцю від сміттєвих домішок.

На основі виявлених функціональних зв'язків відкривається можливість створення нових або вдосконалення існуючих конструкцій пильчато-колосникової секції очищувачів навісного типу. Отриманий досвід показує, що застосування розробленої конструкції в очищувачах габаритного сміття навісного типу дає значне збільшення очисного ефекту машини.

**Ключові слова:** очищувач навісний, габаритне сміття, колосник, пошкодженість насіння, вільне волокно, очисний ефект.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229447**

## **РОЗРОБКА ДЕМПФЕРІВ УДАРІВ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ ВАНТАЖІВ ДВОЛАНКОВИМИ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ (с. 85–94)**

**І. А Вікович, Л. В. Крайник, Р. В. Зінько, В. В. Попович, О. З. Горбай**

Розглянуто вплив перехідних режимів руху (розгін, гальмування) багатоланкового транспортного засобу на віброзахист транспортіваних не закріплених або частково закріплених вантажів. Явище удару у такому разі може підсилитися наявністю зчіпних механізмів між ланками багатоланкового транспортного засобу. Для зменшення таких горизонтальних ударних навантажень доцільно використовувати у зчіпних пристроях багатоланкового транспортного засобу елементи з в'язко-пружним демпфуванням. Для дослідження реальних ударних явищ під час транспортування не закріплених або частково закріплених вантажів в екстремальних режимах руху дволанкових автотранспортних засобів запропоновано застосовувати плоску дво- і три масову динамічну модель з в'язко-пружним демпфуванням. При цьому застосовано теорію пружного удару та не враховано пружно-демпфувальні характеристики підвіски транспортних засобів.

Показано, що отримані результати досліджень дають можливість оцінювати орієнтовні значення величин механічних параметрів обмежувальних пристосувань, які захищають незакріплені чи частково закріплені вантажі від удару, у перехідних режимах транспортування, залежно від умов руху.

Це практично дає змогу добирати раціональні конструктивні параметри елементів в'язко-пружних обмежувальних пристосувань, зокрема пружних елементів і демпферів для зменшення ударних навантажень на незакріплені великовагові вантажі під час транспортування в екстремальних режимах руху.

На основі проведених досліджень запропонована методика віброзахисту незакріплених чи частково закріплених вантажів у кузові дволанкового транспортного засобу під час нерівномірного його руху, яка полягає у визначенні максимальних динамічних навантажень на ці вантажі та можливості підбору раціональних конструктивних параметрів обмежувальних пристосувань для запобігання або зменшення удару цих вантажів об обмежувальні пристосування.

**Ключові слова:** транспортування, вантаж, багатоланковий транспортний засіб, розрахункова схема, екстремальний режим, удар, віброзахист, диференціальні рівняння.