

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.224638

DETERMINING THE LOAD ON THE LONG-BASED STRUCTURE OF THE PLATFORM CAR WITH ELASTIC ELEMENTS IN LONGITUDINAL BEAMS (p. 6–13)**Sergii Panchenko**Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7626-9933>**Oleksij Fomin**State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2387-9946>**Glib Vatulia**Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3823-7201>**Oleksander Ustenko**Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3071-0332>**Alyona Lovska**Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8604-1764>

This paper reports a study into the dynamic loading and strength of an improved carrying structure of the platform car. A special feature of the car is the presence of elastic elements in the main longitudinal beams of the frame. This could improve the fatigue strength of the carrying structure of the platform car under operational modes.

Mathematical modeling was carried out to determine the dynamic load on the carrying structure of the platform car. The fluctuations of bouncing were taken into consideration. It has been established that the vertical acceleration of the carrying structure of the platform car without cargo is about 2.0 m/s^2 (0.2 g). In this case, the vertical accelerations that act on the carrying structure of the platform car are lower by 15 % as compared to the prototype wagon.

The main indicators of strength of the bearing structure of the platform car have been determined. The calculation was carried out using a method of finite elements employing the software suite SolidWorks Simulation (France). When compiling the estimation scheme, it was taken into consideration that the carrying structure of the platform car was loaded with four containers the size of 1SS. In this case, the maximum equivalent stresses occur in the region of interaction between a pivot beam and spreads and are 254.0 MPa. That warrants the strength of the carrying structure of the platform car.

The numerical values of acceleration of the carrying structure of the platform car have been determined, as well as the fields of their location, by applying computer simulation.

The fatigue strength and oscillation eigenfrequencies in the carrying structure of the platform car have been investigated; their designed service time has been estimated.

The reported research would contribute to building innovative structures of platform cars, as well as to improving the efficiency of combined transportation.

Keywords: platform car, carrying structure, dynamic load, structural strength, fatigue strength, transport mechanics, rail transport.

References

- Das, A., Agarwal, G. (2020). Investigation of Torsional Stability and Camber Test on a Meter Gauge Flat Wagon. *Advances in Fluid Mechanics and Solid Mechanics*, 271–280. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-15-0772-4_24
- Šťastniak, P., Kurčík, P., Pavlik, A. (2018). Design of a new railway wagon for intermodal transport with the adaptable loading platform. *MATEC Web of Conferences*, 235, 00030. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823500030>
- Fabian, P., Gerlici, J., Masek, J., Marton, P. (2013). Versatile, Efficient and Long Wagon for Intermodal Transport in Europe. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 15 (2), 118–123. Available at: <http://communications.uniza.sk/index.php/communications/article/view/628>
- Krason, W., Niezgoda, 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>
- Nandan, S., Trivedi, R., Kant, S., Ahmad, J., Maniraj, M. (2020). Design, Analysis and Prototype Development of Railway Wagons on Different Loading Conditions. *SSRN Electronic Journal*. doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3539937>
- 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>
- Stoilov, V., Simić, G., Purgić, S., Milković, D., Slavchev, S., Radulović, S., Maznichki, V. (2019). Comparative analysis of the results of theoretical and experimental studies of freight wagon Sdggmrs-twin. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 664, 012026. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/664/1/012026>
- 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
- 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>
- Domin, Yu. V., Cherniak, H. Yu. (2003). *Osnovy dynamiky vahoniv*. Kyiv: KUETT, 269.
- Kir'yanov, D. V. (2006). *Mathcad 13*. Sankt-Peterburg: BHV. Peterburg, 608.
- D'yakonov, V. (2000). *MATHCAD 8/2000: spetsial'niy spravochnik*. Sankt-Peterburg: Piter, 592.
- 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.
- GOST 33211-2014. Freight wagons. Requirements to structural strength and dynamic qualities. Moscow, 54.
- Alyamovskiy, A. A. (2007). *SolidWorks/COSMOSWorks 2006–2007. Inzhenerniy analiz metodom konechnykh elementov*. Moscow, 784.
- 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. Available at: https://www.researchgate.net/publication/337316337_THE_DYNAMIC_LOADING_ANALYSIS_OF_CONTAINERS_PLACED_ON_A_FLAT_WAGON_DURING_SHUNTING_COLLISIONS
- Vatulia, G. L., Lobiak, O. V., Deryzemlia, S. V., Verevicheva, M. A., Orel, Y. F. (2019). Rationalization of cross-sections of the compos-

- ite 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>
18. 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>
 19. EN 12663-2. Railway applications - structural requirements of railway vehicle bodies - Part 2: Freight wagons (2010).
 20. 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>
 21. 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>
 22. 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>
 23. 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.jestch.2020.08.010>
 24. Ustich, P. A., Karpych, V. A., Ovechnikov, M. N. (1999). Nadezhnost' rel'sovogo netyagovogo podvizhnogo sostava. Moscow, 415.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225090

DETERMINING THE POSSIBILITY OF USING REMOVABLE EQUIPMENT FOR TRANSPORTING 20- AND 40- FEET-LONG CONTAINERS ON AN UNIVERSAL PLATFORM WAGON (p. 14–21)

Vladyslav Shaposhnyk

Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4701-6491>

Oleksandr Shykunov

Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8256-2634>

Alexei Reidemeister

Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7490-7180>

Muradian Leontii

Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1781-4580>

Olha Potapenko

State Higher Educational Institution “Kyiv Electromechanical College”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9692-4547>

An important role in the market of transport services belongs to container transportation. Railroads, especially under the conditions of increased competition from road transport, must respond quickly to the needs of the market and the growing demand for container transportation, including interstate traffic. Demand for container

transportation can vary significantly during the year, which testifies to the expediency of introducing removable equipment on universal railroad freight cars that are involved in the deliveries of containers. This paper reports the design of a removable frame structure for a universal platform that could carry two 20-ft or one 40-ft container. The proposed technical solution does not require changes in the structure of the car and changes in its model; with a decrease in the demand for container transportation, it would allow this car to be used for its main purpose.

According to the current methodology, the efforts that operate on the frame during the transportation of containers have been determined. The strength of the proposed structure was estimated by a finite-element method. The maximum stresses arising in the proposed structure are 164.4 MPa; they occur in the corners of the stops attached to the stand-up staples of the platform. The resulting stress values do not exceed the allowable ones. The results of calculating the removable equipment indicate its sufficient strength. Requirements for placing cargo on the rolling stock assume a mandatory check to fit the dimensions, which confirmed that the container hosted by the frame does fit them. The proposed structure makes it possible to abandon disposable fastening parts, improve the safety of container transportation, and increase competitiveness in the container transportation market.

Keywords: universal platform, container transportation, removable equipment, strength, finite-element method.

References

1. Organisation for Cooperation between Railways (OSJD) (2019). Otchet o deyatelnosti Organizatsii sotrudnichestva zheleznykh dorog za 2018 god. (Utverzhen 6 iyunya 2019 g. XLVII sessiiy Soveshchaniya Ministrov OSZhD (g. Tashkent, Respublika Uzbekistan, 4-7 iyunya 2019 g.)). Available at: https://osjd.org/dbmm/download?vp=51&col_id=121&id=1578
2. Tolstyh, D. A. (2008). Tipy konteynerov i metody ih ispol'zovaniya v logisticheskikh tehnologiyah. Transport Rossiyskoy Federatsii, 3-4 (16-17), 52–55. Available at: <http://rostransport.com/transportrf/pdf/17/52-55.pdf>
3. Rzczycki, A., Wiśnicki, B. (2016). Strength Analysis of Shipping Container Floor with Gooseneck Tunnel under Heavy Cargo Load. Solid State Phenomena, 252, 81–90. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.252.81>
4. Wang, Z., Qian, C. (2020). Strength analysis of LNG tank container for trains under inertial force. Journal of Physics: Conference Series, 1549, 032107. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1549/3/032107>
5. Morchiladze, I. G., Tret'yakov, A. V., Sokolov, A. M. (2006). Sovershenstvovanie vagonov-platform dlya mezhdunarodnykh perevozok konteynerov. Zheleznye dorogi mira, 8, 52–55.
6. Nader, M., Sala, M., Korzeb, J., Kostrzewski, A. (2014). Rail transport wagon as a new, innovative constructional solution for the transport of semi-trailers and truck combinations for intermodal transport. Logistyka, 4, 2272–2279.
7. Krason, W., Niezgoda, 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>
8. Morchiladze, I. G. (2009). Adaptatsiya zheleznodorozhnykh vagonov k mezhdunarodnym perevozkam gruzov. Moscow: IBS-Holding, 534.
9. Tehnicheskie usloviya razmeshcheniya i krepleniya gruzov: Prilozhenie 3 k Soglasheniyu o mezhdunarodnom zheleznodorozhnom gruzovom soobshchenii (SMGS) (2019). Organizatsiya sotrudnichestva zheleznykh dorog (OSZhD). Available at: <https://>

- www.uz.gov.ua/cargo_transportation/legal_documents/smgs/dod3_01072019/
10. Bubnov, V. M., Myamlin, S. V., Gurzhi, N. L. (2009). Improvement rolling-stock structure for transportation of containers. *Transbaltica: proc. of the 6th intern. Scientific conf. Vilnius*, 15–18.
 11. Myamlin, S. V., Shatunov, O. V., Sorokolit, A. V. (2010). Rolling Stock for Transportation Container by Rail-freight Traffics. *Sbornik nauchnyh trudov Donetskogo instituta zheleznodorozhnogo transporta*, 22, 125–131. Available at: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/4372>
 12. Bubnov, V. M., Myamlin, S. V., Hurzhy, N. L. (2009). The improvement of the rolling stock design for containers transportation. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 26, 11–14.
 13. Milovanović, V., Dunić, V., Rakić, D., Živković, M. (2013). Identification causes of cracking on the underframe of wagon for containers transportation – Fatigue strength assessment of wagon welded joints. *Engineering Failure Analysis*, 31, 118–131. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.01.039>
 14. Shvets, A., Shvets, A., Kasianchuk, V. (2020). Research of Strength Characteristics of Element of the Unit Rolling Stock. *Vahonnyi park*, 1 (157), 7–12. Available at: <http://eadnurt.diit.edu.ua/bitstream/123456789/11934/1/Shvets.pdf>
 15. Lovska, A., Fomin, O., Chechet, A., Soloviova, O. (2020). Determining the features of loading the improved bearing structure of a platform wagon for the transportation of military equipment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (105)), 20–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203245>
 16. Lee, W. G., Kim, J.-S., Sun, S.-J., Lim, J.-Y. (2016). The next generation material for lightweight railway car body structures: Magnesium alloys. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 232 (1), 25–42. doi: <https://doi.org/10.1177/0954409716646140>
 17. Muradyan, L. A., Shaposhnik, V. Yu., Podosenov, D. A. (2016). Improving the Reliability of Freight Wagons with the Use of New Manufacturing Technologies and Regeneration of Working Surfaces. *Elektromahnitna sumisnist ta bezpeka na zaliznychnomu transporti*, 11, 49–54. Available at: http://eadnurt.diit.edu.ua/bitstream/123456789/9585/1/Muradian_%20L.pdf
 18. Reidemeister, A., Muradian, L., Shaposhnyk, V., Shykunov, O., Kyryl'chuk, O., Kalashnyk, V. (2020). Improvement of the open wagon for cargoes which imply loading with a “hat.” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 985, 012034. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/985/1/012034>
 19. Shaytanova, I. K. (2005). Vybór napravleniy modernizatsii universal'nyh vagonov-platform. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya*, 1, 65–70.
 20. Reidemeister, O. H., Kalashnyk, V. O., Shykunov, O. A. (2016). Modernization as a way to improve the use of universal cars. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2 (62), 148–156. doi: <https://doi.org/10.15802/stp2016/67334>
 21. Boronenko, Yu. P., Dauksha, A. S. (2017). Selecting design solutions for container and swap body flatcar fixing devices. *Transport Rossiyskoy Federatsii. Zhurnal o nauke, praktike, ekonomike*, 3 (70), 29–32. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-konstruktivnyh-resheniy-ustroystv-krepleniya-konteynerov-i-semnyh-kuzovov-na-zheleznodorozhnyh-platformah>
 22. Dižo, J., Harušinec, J., Blatnický, M. (2017). Structural analysis of a modified freight wagon bogie frame. *MATEC Web of Conferences*, 134, 00010. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713400010>
 23. Baykasoglu, C., Sunbuloglu, E., Bozdog, S. E., Aruk, F., Toprak, T., Mugan, A. (2012). Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models. *International Iron & Steel Symposium*, 579–586. Available at: <http://web.hitit.edu.tr/dosyalar/yayinlar/cengizbaykasoglu@hititedutr110920130Y7K9T0V.pdf>
 24. Dovhaniuk, S. S., Kalashnyk, V. O., Reidemeister, A. G., Shykunov, O. A. (2019). Investigation of possibility of hopper cars unloading on the car dumper VRS–134M. *MATEC Web of Conferences*, 294, 06003. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929406003>
 25. Lee, H.-A., Jung, S.-B., Jang, H.-H., Shin, D.-H., Lee, J. U., Kim, K. W., Park, G.-J. (2015). Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 230 (4), 1283–1296. doi: <https://doi.org/10.1177/0954409715593971>
 26. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., Kyryl'chuk, O. (2017). Mathematical modeling of dynamic loading of cassette bearings for freight cars. *Transport Means: Proceedings of 21st International Scientific Conference. Kaunas*, 973–976.
 27. Stoilov, V., Slavchev, S. S., Purgić, S. (2015). Static strength analysis of the body of a wagon, series Zans. *Journal of The Balkan Tribological Association*, 21 (1), 49–57.
 28. DSTU 7598:2014. Freight wagons. General requirements to calculation and designing of the new and modernized 1520 mm gauge wagons (non-self-propelled). Kyiv, 162.
 29. Muradian, L. A., Shaposhnyk, V. Y., Mischenko, A. A. (2016). Methodological fundamentals of determination of unpowered rolling stock maintenance characteristics. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 1 (61), 169–179. doi: <https://doi.org/10.15802/stp2016/61044>
 30. Muradyan, L. A., Shaposhnik, V. Yu., Mishchenko, A. A. (2016). Opytnye marshruty DIIT-UZ: «Opytnaya ekspluatatsiya – nauchnye obosnovaniya – massovoe vnedrenie». *Vagonnyi park*, 5-6 (110-111), 57–59.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225097

DETERMINING STRESSES IN THE METALLIC STRUCTURE OF AN OVERHEAD CRANE WHEN USING RUNNING WHEELS OF THE NEW DESIGN (p. 22–31)

Natalia Fidrovsk

Kharkiv National Automobile and Road University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5248-273X>

Evgen Slepuzhnikov

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5449-3512>

Ivan Varchenko

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5284-9351>

Serhii Harbuz

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6345-6214>

Serhii Shevchenko

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6740-9252>

Maryna Chyrkina

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2060-9142>

Viktoriia Nesterenko

Pervomaisk Branch of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Pervomaisk, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5570-3059>

This paper proposes a method to experimentally study the stressed state of the metallic structure of an overhead crane when using running wheels of different designs. The study employed a functioning electric, supporting, double-girder overhead crane with a capacity of 5 tons and a run of 22.5 m. Strain gauges assembled in a semi-bridge circuit and connected to the analog-digital converter Zetlab210 (Russia) were used to determine the girder deformations at the time of hoisting and moving cargoes of different masses. The cargo was lifted and displaced under the same conditions, on the regular wheels of a cargo trolley and the wheels with an elastic rubber insert. The girder deformation diagrams were constructed. The subsequent recalculation produced the stressed state's dependences at each point of cargo movement when using both regular wheels and the wheels with an elastic rubber insert. Also established were the dependences and the duration of oscillations that occur over the cycle of cargo lifting and moving. The experimental study cycle included cargo lifting in the far-left position by a trolley, moving the cargo to the far-right position, and returning the trolley with the cargo to its original position.

It should be noted that the application of a new, modernized design of the running wheels of a cargo trolley with an elastic rubber insert effectively dampen the oscillations in the metallic structure of the crane.

The experimental study's results helped establish an 18 % reduction in stresses in the girder of the overhead crane, as well as a decrease in peak vibrations, by 20 seconds, at the same cycles of cargo hoisting and moving. In addition, using wheels with an elastic rubber insert reduces the period of oscillation damping at the end of the cycle of cargo movement, by at least 30 %.

Keywords: strain-gauge testing, stresses, running wheel, elastic insert, overhead crane, cargo trolley.

References

- Castro, J. C., Palafox, E. H., Gómez, L. H. H., Mendoza, G. S., Grijalba, Y. L., López, P. R. (2019). Analysis of the structural girders of a crane for the license renewal of a BWR Nuclear Power Plant. *Procedia Structural Integrity*, 17, 115–122. doi: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.08.016>
- Slepuzhnikov, Ye., Fidrovska, N. (2020). Vykorystannia kraniv mostovoho typu v suchasniy promyslovosti. Collection of Scientific Papers АΟΓΟΣ, 96–97. doi: <https://doi.org/10.36074/05.06.2020.v3.40>
- Sapon, M., Gorbachenko, O., Kondratyev, S., Krytskyy, V., Mayatsky, V., Medvedev, V., Smyshlyaeva, S. (2020). Prevention of Damage to Spent Nuclear Fuel during Handling Operations. *Nuclear and Radiation Safety*, 2 (86), 62–71. doi: [https://doi.org/10.32918/nrs.2020.2\(86\).08](https://doi.org/10.32918/nrs.2020.2(86).08)
- Fidrovska, N., Slepuzhnikov, E., Larin, O., Varchenko, I., Lipovyi, V., Afanasenko, K., Harbuz, S. (2020). Increase of operating reliability of the travel wheel using the use of the elastic inserts. *EUREKA: Physics and Engineering*, 5, 69–76. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001387>
- Otrosh, Y., Kovalov, A., Semkiv, O., Rudeshko, I., Diven, V. (2018). Methodology remaining lifetime determination of the building structures. *MATEC Web of Conferences*, 230, 02023. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823002023>
- Tong, Y., Ge, Z., Zhuo, X., Shen, G., Li, D., Li, X. (2018). Research on welding deformation for box girder of bridge crane based on thermal elasto-plastic theory. *Advances in Mechanical Engineering*, 10 (5), 168781401877588. doi: <https://doi.org/10.1177/1687814018775885>
- Spruogis, B., Jakštas, A., Turla, V., Iljin, I., Šešok, N. (2011). Dynamic reaction forces of an overhead crane on lifting. *TRANSPORT*, 26 (3), 279–283. doi: <https://doi.org/10.3846/16484142.2011.622144>
- Yixiao, Q., Ji, J., Haiming, Y. (2016). High Precision Analysis of Stress Concentration in Girder Structure of Casting Crane. *International Journal of Science and Qualitative Analysis*, 2 (2), 14–18. doi: <https://doi.org/10.11648/j.ijjsqa.20160202.11>
- Kutsenko, L., Semkiv, O., Kalynovskyi, A., Zapolskiy, L., Shoman, O., Virchenko, G. et al. (2019). Development of a method for computer simulation of a swinging spring load movement path. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (97)), 60–73. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154191>
- 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>
- Nischeta, S. A., Chernyshova, E. P., Narkevich, M. Y., Krishan, A. L., Sagadatov, A. I. (2017). Damage of bridge lifting cranes and crane metal structures. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12 (3), 6587–6590. Available at: <http://docsdrive.com/pdfs/medwelljournals/jeasci/2017/6587-6590.pdf>
- Antsev, V. Y., Tolokonnikov, A. S., Vorobev, A. V., Sakalo, V. I. (2017). Methods of determining the margin of cyclic crack resistance of metal structures for hoisting machinery. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 177, 012096. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/177/1/012096>
- Frankovský, P., Delyová, I., Sivák, P., Kurylo, P., Pivarčiová, E., Neumann, V. (2020). Experimental Assessment of Time-Limited Operation and Rectification of a Bridge Crane. *Materials*, 13 (12), 2708. doi: <https://doi.org/10.3390/ma13122708>
- Gryhorov, O. V., Anishchenko, G. O., Petrenko, N. O., Strizhak, V. V., Turchyn, O. V., Radchenko, V. S. et al. (2019). Improvement of crane steel structures work the way of applying of hydraulic drive and some other solutions in mechanisms of movement and slewing. *Hebezeuge und Fördermittel*, 2 (61), 4–25. Available at: <https://ptt-journals.net/files/2019-2-61-01.pdf>
- Meng, W., Yang, Z., Qi, X., Cai, J. (2013). Reliability Analysis-Based Numerical Calculation of Metal Structure of Bridge Crane. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013, 1–5. doi: <https://doi.org/10.1155/2013/260976>
- Haniszewski, T. (2014). Strength analysis of overhead traveling crane with use of finite element method. *Transport problems*, 9 (1), 19–26. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/276235576>
- Yifei, T., Wei, Y., Zhen, Y., Dongbo, L., Xiangdong, L. (2013). Research on Multidisciplinary Optimization Design of Bridge Crane. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013, 1–10. doi: <https://doi.org/10.1155/2013/763545>
- Patel, H., Upadhyay, D., Patel, D. (2020). Design optimization of box girder in gantry crane using finite element analysis software. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 07 (08), 1906–1917. Available at: <https://www.irjet.net/archives/V7/i8/IRJET-V7I8317.pdf>
- Delic, M., Colic, M., Mesic, E., Pervan, N. (2017). Analytical calculation and fem analysis main girder double girder bridge crane. *TEM Journal*, 6 (1), 48–52. doi: <http://dx.doi.org/10.18421/TEM61-07>
- Slepuzhnikov, Ye., Varchenko, I., Fidrovska, N. (2020). Provedennia eksperymentalnykh doslidzhen metodom tenzometriyi. *ICSR*

Conference Proceedings, 85–86. doi: <https://doi.org/10.36074/01.05.2020.v2.10>

21. Pastor, M., Trebuna, F., Lengvarsky, P., Bocko, J. (2016). Possibility of using of tensometry in deformation analysis in areas with sudden change of geometry. *American Journal of Mechanical Engineering*, 4 (7), 363–367. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/313108265>
22. Tutak, P. (2014). Application Of Strain Gauges In Measurements Of Strain Distribution In Complex Objects. *Journal of Applied Computer Science Methods*, 6 (2), 135–145. doi: <https://doi.org/10.1515/jacsm-2015-0004>
23. Ghimboreanu, I. (2015). Experimental research study on the use of a resistive tensometric sensor. *International Scientific Journal: Machines. Technologies. Materials*, 9 (1), 44–47. Available at: <https://stumejournals.com/journals/mtm/2015/1/44.full.pdf>
24. Pastor, M., Carak, P., Gomory, I. (2019). The assessment of the residual stresses influence on generation of the infringement in shape-complex supporting members. *Strojnický časopis – Journal of Mechanical Engineering*, 69 (1), 85–96. doi: <https://doi.org/10.2478/scjme-2019-0007>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225106

DETERMINING THE ELASTIC-PLASTIC EFFECTIVE WIDTH OF THE FREE FLANGE OF A HULL GIRDER WITH THE BREAKING OF A WALL (p. 32–40)

Valerii Sokov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,
Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3933-879X>

Leontii Korostylov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,
Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4370-3270>

This paper reports the dependences that have been derived to determine the effective width of a free flange in a dangerous cross-section of the wide-flange hull girder with the breaking of the wall/edges/axis at elastic-plastic deformation depending on the applied load for a perfectly plastic material without strengthening. Currently, there are no systematic dependences to determine the effective width of the free flange of girders of this type, except for certain cases. The technique is suitable for use for both purely elastic and elastic-plastic deformation. To calculate the stressed-strained state (SSS), a finite-element method (FEM) was used to solve the three-dimensional problem from the elasticity and plasticity theory. It has been shown that the node is exposed to simple loading. The reported results were derived within the framework of the deformation theory of plasticity. The largest ratio of external load to the boundary of fluidity is 0.9. The estimation scheme takes into consideration the most unfavorable working conditions of the examined node when the safest data are acquired. The dependences were built for the theoretical coefficient of concentration in a dangerous cross-section, which is used in the proposed procedure to determine the moment of transition from the elastic stage of deformation to elastic-plastic. When determining the effective width, the complex work of the flange and its deplanation was taken into consideration by defining the SSS components in the median plane. The feasibility of the idea of designing the SSS components on the inclined plane of a free flange has been proven. In this case, there is practically a (quasi) flat stressed state, suitable for the application of classical methods to

determine the effective width. The proposed technique simplifies the calculations of the strength of the examined girder.

Keywords: elastic-plastic effective width, girder with an axis/edge/wall breaking, I-girder, concentration factor.

References

1. Sokov, V. M. (2020). Veryfikatsiia ta modyfikatsiia formuly V. P. Suslova dlia efektyvnoi shyrynyi vilnoho poiasku balky zi zlamom stinky. Suchasni tekhnolohiyi proektuvannia, pobudovy, ekspluatatsiyyi i remontu suden, morskykh tekhnichnykh zasobiv i inzhenernykh sporud: materialy vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsiyyi z mizhnarodnoiu uchastiu. Mykolaiv: NUK, 106–110.
2. Sokov, V. M. (2020). Efektyvna shyryna vilnoho flantsia sudnovoi balky zi zlamom stinky v nebezpechnomu pererizi. Inovatsiyyi v sudnobuduvanni ta okeanotekhnitsi: materialy XI mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsiyyi. Mykolaiv: NUK, 233–236.
3. Belenkiy, L. M., Raskin, Y. N., Vuillemin, J. (2007). Effective plating in elastic–plastic range of primary support members in double-skin ship structures. *Marine Structures*, 20 (3), 115–123. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2007.06.002>
4. Hansen, T., Gath, J., Nielsen, M. P. (2010). An improved effective width method based on the theory of plasticity. *Advanced Steel Construction*, 6 (1), 515–547. doi: <https://doi.org/10.18057/ijasc.2010.6.1.1>
5. Lin, Z., Zhao, J. (2012). Modeling inelastic shear lag in steel box beams. *Engineering Structures*, 41, 90–97. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.03.018>
6. Yemelin, Y. (1992). On the effective width of girder flanges in elastic and elasto-plastic stages. *Journal of Constructional Steel Research*, 21 (1-3), 195–204. doi: [https://doi.org/10.1016/0143-974x\(92\)90027-c](https://doi.org/10.1016/0143-974x(92)90027-c)
7. Shi, Q.-X., Wang, B. (2015). Simplified calculation of effective flange width for shear walls with flange. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 25 (12), 558–577. doi: <https://doi.org/10.1002/tal.1272>
8. Cheng, X., Chen, Y., Pan, L. (2013). Experimental study on steel beam–columns composed of slender H-sections under cyclic bending. *Journal of Constructional Steel Research*, 88, 279–288. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2013.05.020>
9. Erkmén, B., Kilic, B. T. (2019). Determination of Effective Breadth Width of Steel Plate-Stiffener Based on Nonlinear FE Analysis. *The 14th Nordic Steel Construction Conference*, 3 (3-4), 829–834. doi: <https://doi.org/10.1002/cepa.1141>
10. Okabe, T., Takeda, N. (2002). Elastoplastic shear-lag analysis of single-fiber composites and strength prediction of unidirectional multi-fiber composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 33 (10), 1327–1335. doi: [https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(02\)00170-7](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(02)00170-7)
11. Kimura, S., Koyanagi, J., Hama, T., Kawada, H. (2007). An Improved Shear-Lag Model for a Single Fiber Composite with a Ductile Matrix. *Key Engineering Materials*, 334-335, 333–336. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.334-335.333>
12. Nie, J.-G., Tian, C.-Y., Cai, C. S. (2008). Effective width of steel–concrete composite beam at ultimate strength state. *Engineering Structures*, 30 (5), 1396–1407. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.07.027>
13. Timoshenko, S. P., Goodier, J. N. (1970). *Theory of Elasticity* Audio CD. New York: McGraw-Hill Book Company.
14. Suslov, V. P., Kochanov, Yu. P., Spihtarenko, V. N. (1972). *Stroitel'naya mehanika korablya i osnovy teorii uprugosti*. Leningrad: Sudostroenie, 720.
15. Eremenko, S. Yu. (1991). *Metody konechnykh elementov v mehanike deformiruemykh tel*. Kharkiv: Izd-vo «Osnova» pri Khark. un-te., 272.

16. Mozharovskiy, N. S., Kachalovskaya, N. E. (1991). Prilozhenie metodov teorii plastichnosti i polzuchesti k resheniyu inzhenernykh zadach mashinostroeniya. Ch. 2: Metody i algoritmy resheniya kraevykh zadach. Kyiv: «Vishcha shkola», 287.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225112

DETERMINING THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF COMPOSITE MATERIALS REINFORCED WITH WOVEN PREFORMS (p. 41–50)

Andrii Kondratiev

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8101-1961>

Oleksii Andrieiev

Antonov Company, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2767-4884>

Maryna Shevtsova

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

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3176-5017>

Reduction of the complexity of production of articles from composite materials is largely ensured by the use of reinforcing semi-finished products in which fibers pre-form a framework. Among all the variety of reinforcing systems, woven sleeves (preforms) occupy a special place. The high degree of deformability in a nonimpregnated condition makes it possible to lay this reinforcement on any surface without folds and cuts that provide preservation of strand continuity. This advantage of woven sleeves is accompanied by a change in local reinforcement angles and, consequently, the variable nature of physical and mechanical characteristics of the curved part surface. A method for calculating physical and mechanical characteristics of the composite based on preforms at any point of the part depending on the pattern of laying strands on a curved surface has been developed. The possibility of application of the rod model of the composite to describe physical and mechanical characteristics of the composite material with a woven reinforcement was analyzed. The model essence consists in that the composite is modeled by a diamond-shaped rod system. The rhombus sides serve as fibers and the diagonals as the binder. To verify the theoretical results and substantiate practical recommendations, a series of experimental studies were performed based on the formation of material specimens from two types of woven sleeves with different reinforcement angles. The experimental study program included tensile, bending, and compression tests. A fairly good convergence of theoretical and experimental data was obtained. For example, a square of the correlation coefficient was not less than 0.95 for the modulus of elasticity, not less than 0.8 for the Poisson's ratio, and not less than 0.9 for tensile and compressive strengths. This is the rationale for using the rod model to describe the considered class of composites. The use of the developed procedure will make it possible to increase the perfection of the considered class of designs and obtain rational parameters of the process of their manufacture.

Keywords: sleeve, premix, reinforcement angle, rod model, fibers, binder, test, stretching, bending, compression.

References

- Fomin, O., Logvinenko, O., Burlutsky, O., Rybin, A. (2018). Scientific Substantiation of Thermal Leveling for Deformations in the Car Structure. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.3), 125. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19721>
- Bychkov, A. S., Kondratiev, A. V. (2019). Criterion-Based Assessment of Performance Improvement for Aircraft Structural Parts with Thermal Spray Coatings. *Journal of Superhard Materials*, 41 (1), 53–59. doi: <https://doi.org/10.3103/s1063457619010088>
- Mustafa, L. M., Ismailov, M. B., Sanin, A. F. (2020). Study on the effect of plasticizers and thermoplastics on the strength and toughness of epoxy resins. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 63–68. doi: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-4/063>
- Kondratiev, A., Slivinsky, M. (2018). Method for determining the thickness of a binder layer at its non-uniform mass transfer inside the channel of a honeycomb filler made from polymeric paper. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (5 (96)), 42–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.150387>
- Rodichev, Y. M., Smetankina, N. V., Shupikov, O. M., Ugrimov, S. V. (2018). Stress-Strain Assessment for Laminated Aircraft Cockpit Windows at Static and Dynamic Loads. *Strength of Materials*, 50 (6), 868–873. doi: <https://doi.org/10.1007/s11223-019-00033-4>
- Kondratiev, A., Gaidachuk, V., Nabokina, T., Tsaritsynskiy, A. (2020). New Possibilities of Creating the Efficient Dimensionally Stable Composite Honeycomb Structures for Space Applications. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 45–59. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-37618-5_5
- Leong, K. H., Ramakrishna, S., Huang, Z. M., Bibo, G. A. (2000). The potential of knitting for engineering composites – a review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 31 (3), 197–220. doi: [https://doi.org/10.1016/s1359-835x\(99\)00067-6](https://doi.org/10.1016/s1359-835x(99)00067-6)
- Donetskiy, K. I., Kogan, D. I., Khrulkov, A. V. (2014). Properties of the polymeric composite materials made on the basis of braided preforms. *Proceedings of VIAM*, 3. doi: <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2014-0-3-5-5>
- Okano, M., Sugimoto, K., Saito, H., Nakai, A., Hamada, H. (2005). Effect of the braiding angle on the energy absorption properties of a hybrid braided FRP tube. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 219 (1), 59–66. doi: <https://doi.org/10.1243/146442005x10256>
- Erber, A., Drechsler, K. (2009). Torsional performance and damage tolerance of braiding configurations. *JEC Composites Magazine*, 46, 42–45.
- Arold, B., Gessler, A., Metzner, C., Birkefeld, K. (2015). Braiding processes for composites manufacture. *Advances in Composites Manufacturing and Process Design*, 3–26. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-1-78242-307-2.00001-4>
- Birkefeld, K., Pickett, A., Middendorf, P. (2018). 8.5 Virtual Design and Optimisation of Braided Structures Considering Production Aspects of the Preform. *Comprehensive Composite Materials II*, 85–97. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.10054-2>
- Li, X., Binienda, W. K., Littell, J. D. (2009). Methodology for Impact Modeling of Triaxial Braided Composites Using Shell Elements. *Journal of Aerospace Engineering*, 22 (3), 310–317. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0893-1321\(2009\)22:3\(310\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0893-1321(2009)22:3(310))
- Lomov, S. V., Parnas, R. S., Bandyopadhyay Ghosh, S., Verpoest, I., Nakai, A. (2002). Experimental and Theoretical Characterization of the Geometry of Two-Dimensional Braided Fabrics. *Textile Research Journal*, 72 (8), 706–712. doi: <https://doi.org/10.1177/004051750207200810>
- Lomov, S. V., Mikolanda, T., Kosek, M., Verpoest, I. (2007). Model of internal geometry of textile fabrics: Data structure and virtual reality implementation. *Journal of the Textile Institute*, 98 (1), 1–13. doi: <https://doi.org/10.1533/joti.2006.0251>
- Verleye, B., Croce, R., Griebel, M., Klitz, M., Lomov, S. V., Morren, G. et. al. (2008). Permeability of textile reinforcements: Sim-

- ulation, influence of shear and validation. *Composites Science and Technology*, 68 (13), 2804–2810. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2008.06.010>
17. Zilio, L., Dias, M., Santos, T., Santos, C., Fonseca, R., Amaral, A., Aquino, M. (2020). Characterization and statistical analysis of the mechanical behavior of knitted structures used to reinforce composites: Yarn compositions and float stitches. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (4), 8323–8336. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.05.089>
 18. Samipour, S. A., Khaliulin, V. I., Batrakov, V. V. (2017). A method for calculating the parameters for manufacturing preforms via radial braiding. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 46 (3), 302–308. doi: <https://doi.org/10.3103/s1052618817030128>
 19. Samipur, S. A., Danilov, Y. S. (2016). Development and verification of an analytic technique to determine the stiffness parameters of braided tubular parts. *Russian Aeronautics*, 59 (4), 460–465. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068799816040048>
 20. Chen, C. M., Kam, T. Y. (2007). Elastic constants identification of symmetric angle-ply laminates via a two-level optimization approach. *Composites Science and Technology*, 67 (3-4), 698–706. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2006.04.016>
 21. Kondratiev, A., Gaidachuk, V., Nabokina, T., Kovalenko, V. (2019). Determination of the influence of deflections in the thickness of a composite material on its physical and mechanical properties with a local damage to its wholeness. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (100)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.174025>
 22. Andreev, A. V., Karpov, Ya. S. (2010). Modelirovanie uprugih i prochnostnyh svoystv kompozitov, armirovannyh pletenyimi rukavami. *Voprosy proektirovaniya i proizvodstva konstruksiy letatel'nyh apparatov*, 4 (64), 7–10.
 23. Kondratiev, A., Andriev, O. (2020). Forecasting characteristics of composite strength on the basis of preforms in elements of building structures. *Municipal economy of cities*, 6 (159), 2–9. doi: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2020-6-159-2-9>
 24. Chaouachi, F., Rahali, Y., Ganghoffer, J. F. (2014). A micromechanical model of woven structures accounting for yarn–yarn contact based on Hertz theory and energy minimization. *Composites Part B: Engineering*, 66, 368–380. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.05.027>
 25. Karpov, Y. S., Lepikhin, P. P., Taranenko, I. M. (2001). *Mechanics of composite materials*. Kharkiv: National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute” Publ., 104.
 26. Wang, H., Wang, Z. (2015). Quantification of effects of stochastic feature parameters of yarn on elastic properties of plain-weave composite. Part 1: Theoretical modeling. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 78, 84–94. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.07.022>
 27. Wu, L., Zhang, F., Sun, B., Gu, B. (2014). Finite element analyses on three-point low-cyclic bending fatigue of 3-D braided composite materials at microstructure level. *International Journal of Mechanical Sciences*, 84, 41–53. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2014.03.036>
 28. Wu, Z., Au, C. K., Yuen, M. (2003). Mechanical properties of fabric materials for draping simulation. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 15 (1), 56–68. doi: <https://doi.org/10.1108/09556220310461169>
 29. Kondratiev, A. (2019). Improving the mass efficiency of a composite launch vehicle head fairing with a sandwich structure. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (102)), 6–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184551>
 30. Ahmadi, M. S., Johari, M. S., Sadighi, M., Esfandeh, M. (2009). An experimental study on mechanical properties of GFRP braid-pultruded composite rods. *Express Polymer Letters*, 3 (9), 560–568. doi: <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2009.70>
 31. Pellegrino, S. (2012). Satellite Hardware: Stow-and-Go for Space Travel. *Advanced Materials and Processes*, 170, 39–41.
 32. Arnold, W., William, A., Wieslaw, B., Robert, G., Lee, K., Justin, L., Gary, R. (2009). Characterization of Triaxial Braided Composite Material Properties for Impact Simulation. 65-th American Helicopter Society International Annual Forum, 2, 912–933.
 33. Balea, L., Dusserre, G., Bernhart, G. (2014). Mechanical behaviour of plain-knit reinforced injected composites: Effect of inlay yarns and fibre type. *Composites Part B: Engineering*, 56, 20–29. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.07.028>
 34. Bergmann, T., Heimbs, S., Maier, M. (2015). Mechanical properties and energy absorption capability of woven fabric composites under $\pm 45^\circ$ off-axis tension. *Composite Structures*, 125, 362–373. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.01.040>
 35. Boufaïda, Z., Farge, L., André, S., Meshaka, Y. (2015). Influence of the fiber/matrix strength on the mechanical properties of a glass fiber/thermoplastic-matrix plain weave fabric composite. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 75, 28–38. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.04.012>
 36. Ayranci, C., Carey, J. P. (2011). Experimental validation of a regression-based predictive model for elastic constants of open mesh tubular diamond-braid composites. *Polymer Composites*, 32 (2), 243–251. doi: <https://doi.org/10.1002/pc.21042>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225117

ESTIMATING THE DYNAMICS OF A MACHINE-TRACTOR ASSEMBLY CONSIDERING THE EFFECT OF THE SUPPORTING SURFACE PROFILE (p. 51–62)

Ivan Galych

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

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9137-036X>

Roman Antoshchenkov

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

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0769-7464>

Viktor Antoshchenkov

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

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1136-5430>

Igor Lukjanov

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

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0325-2660>

Sergey Diundik

National Academy of National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3558-0028>

Oleksandr Kis

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0033-4495>

Results of theoretical studies of dynamics of the machine-tractor assembly taking into account the influence of a bearing surface profile were presented. It was established that in the course of operation, the machine-tractor assembly is exposed to a number of external factors leading to a change of vertical loads on the chassis and the engine. Mathematical models of dynamics of a tractor and a machine and a tractor unit consisting of a tractor of pivotally connected arrangement and a trailed sower were constructed. Such models make it possible to study dynamics and oscillatory processes of multi-

element units. A mathematical model of tractor wheel dynamics was formed. Speeds and angles of orientation of elements of the machine-tractor assembly in space were determined. Influence of profile of the bearing surface on the unit elements when moving in the field prepared for sowing and the field after plowing was calculated. Theoretical studies of the influence of the bearing surface profile on dynamics of the machine-tractor assembly were performed on the example of KhTZ-242K tractor and Vega-8 Profi sower (Ukraine). When moving, the sower frame has a smaller amplitude of vibration accelerations than that of the tractor. Accordingly, the tractor has higher oscillation energy because it rests on the ground through its wheels having appropriate stiffness. The sower moves with its working bodies immersed into the soil which leads to a decrease in the amplitude of oscillations. The highest energy of amplitude of oscillation accelerations of the sower frame in the vertical direction was observed at frequencies of 15.9; 23.44; 35.3 and 42.87 Hz. It was found that the increase in working speeds of agricultural units leads to the fact that oscillations of all components reach significant values. This entails an increase in dynamic loads on soil and, as a consequence, its compaction.

Keywords: machine-tractor assembly, oscillations of frame elements, mathematical model of the wheel, profile of bearing surface, amplitude of vibration accelerations, spectral density of profile height.

References

- Shabana, A. A. (2013). *Dynamics of Multibody Systems*. Cambridge University Press, 384. doi: <https://doi.org/10.1017/cbo9781107337213>
- Wong, J. Y. (2008). *Theory of ground vehicles*. Wiley, 592. Available at: <https://www.wiley.com/en-us/Theory+of+Ground+Vehicles%2C+4th+Edition-p-9780470170380>
- Zhutov, A. G., Karsakov, A. A., Avramov, V. I. (2013). Formation of towed load depending on the moment of resistance. *Traktory i sel'hozmashiny*, 2, 24–25. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18851435>
- Werner, R., Kormann, G., Mueller, S. (2012). Dynamic modeling and path tracking control for a farm tractor towing an implement with steerable wheels and steerable drawbar. *2nd Commercial Vehicle Technology Symposium. Kaiserslautern*, 241–250.
- Bulgakov, V., Ivanovs, S., Adamchuk, V., Antoshchenkov, R. (2019). Investigations of the Dynamics of a Four-Element Machine-and-Tractor Aggregate. *Acta Technologica Agriculturae*, 22 (4), 146–151. doi: <https://doi.org/10.2478/ata-2019-0026>
- Blundell, M., Harty, D. (2004). *The Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics*. Butterworth-Heinemann, 288. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-5112-7.x5000-3>
- Antoshchenkov, R. V. (2017). *Dynamika ta enerhetyka rukhu bahatoelementnykh mashynno-traktornykh ahrehativ*. Kharkiv: KhNTUSH, 244. Available at: <http://dSPACE.khntusg.com.ua/handle/123456789/1186>
- Cutini, M., Brambilla, M., Bisaglia, C. (2017). Whole-Body Vibration in Farming: Background Document for Creating a Simplified Procedure to Determine Agricultural Tractor Vibration Comfort. *Agriculture*, 7 (10), 84. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture7100084>
- Dzyuba, O., Dzyuba, A., Polyakov, A., Volokh, V., Antoshchenkov, R., Mykhailov, A. (2019). Studying the influence of structural-mode parameters on energy efficiency of the plough PLN-3-35. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (1 (99)), 55–65. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.169903>
- Lenzuni, P., Deboli, R., Preti, C., Calvo, A. (2016). A round robin test for the hand-transmitted vibration from an olive harvester. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 53, 86–92. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2015.10.006>
- Pazooki, A., Cao, D., Rakheja, S., Boileau, P.-É. (2011). Ride dynamic evaluations and design optimisation of a torsio-elastic off-road vehicle suspension. *Vehicle System Dynamics*, 49 (9), 1455–1476. doi: <https://doi.org/10.1080/00423114.2010.516833>
- Guan, D., Fan, C., Xie, X. (2005). A dynamic tyre model of vertical performance rolling over cleats. *Vehicle System Dynamics*, 43 (sup1), 209–222. doi: <https://doi.org/10.1080/00423110500109398>
- Besselink, I. J. M., Schmeitz, A. J. C., Pacejka, H. B. (2010). An improved Magic Formula/Swift tyre model that can handle inflation pressure changes. *Vehicle System Dynamics*, 48 (sup1), 337–352. doi: <https://doi.org/10.1080/00423111003748088>
- Pacejka, H. (2012). *Tire and Vehicle Dynamics*. Butterworth-Heinemann, 672. doi: <https://doi.org/10.1016/c2010-0-68548-8>
- Taylor, R. K., Bashford, L. L., Schrock, M. D. (2000). Methods for measuring vertical tire stiffness. *Transactions of the ASAE*, 43 (6), 1415–1419. doi: <https://doi.org/10.13031/2013.3039>
- Jazan, R. N. (2014). *Vehicle dynamics: Theory and Application*. Springer. doi: <http://doi.org/10.1007/978-1-4614-8544-5>
- Wille, R., Bohm, F., Duda, A. (2005). Calculation of the rolling contact between a tyre and deformable ground. *Vehicle System Dynamics*, 43, 483–492. doi: <https://doi.org/10.1080/00423110500139759>
- Melnik, V., Antoshchenkov, R., Antoshchenkov, V., Kis, V., Galych, I. (2019). Results of experimental studies of tractor type dynamics XT3-243K. *Visnyk KhNTUSH imeni Petra Vasylenka*, 198, 181–187. Available at: <http://dSPACE.khntusg.com.ua/bitstream/123456789/10461/1/26.pdf>
- Wee, B. S., Yahya, A., Suparjo, B. S., Othman, I. (2002). Mobile, automated, 3-axis laser soil surface profile digitizer. *Biological, agricultural and food engineering: Proceedings of 2nd World Engineering Congress (WEC2002), Engineering innovation and sustainability: Global challenges and issues*. Kuching, 319–326.
- Kabir, M. S. N., Ryu, M.-J., Chung, S.-O., Kim, Y.-J., Choi, C.-H., Hong, S.-J., Sung, J.-H. (2014). *Research Trends for Performance, Safety, and Comfort Evaluation of Agricultural Tractors: A Review*. *Journal of Biosystems Engineering*, 39 (1), 21–33. doi: <https://doi.org/10.5307/jbe.2014.39.1.021>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225121

DEVISING A METHOD TO ANALYZE THE CURRENT STATE OF THE MANIPULATOR WORKSPACE (p. 63–74)

Natalja Ashhepkova

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1870-1062>

This paper has proposed a program analysis method over the current state of the workspace of an anthropomorphic manipulator using the Mathcad software application package (USA). The analysis of the manipulator workspace helped solve the following sub-tasks: to calculate the limits of the grip reach, to determine the presence of “dead zones” within the manipulator workspace, to build the boundaries of the manipulator workspace. A kinematic scheme of the manipulator typically provides for at least five degrees of mobility, which is why in the three-dimensional Cartesian coordinate system the work zone boundaries represent the surfaces of a complex geometric shape. The author-devised method makes it possible to construct the projections of the boundaries of the manipulator's work zone onto the coordinate planes in the frame of reference associated with the base of the robot.

Using Mathcad's built-in features makes it possible to effectively solve the above sub-tasks without wasting time developing special-

ized software. The Mathcad software application package provides for the possibility of a symbolic solution to the first problem of the kinematics of an industrial robot, that is, the program generates analytical dependences of the coordinates for special point P (pole) of the grip on the trigonometrical functions of the generalized coordinates. The resulting analytical dependences are used for kinematic and dynamic analysis of the manipulator.

Special features in constructing mathematical models when using the Mathcad software application package have been revealed. Simulating the manipulator movement taking into consideration constraints for kinematic pairs, the drives' power, as well as friction factors, makes it possible to optimize the parameters of the manipulator kinematic scheme.

An example of the analysis of the working space of an anthropomorphic manipulator with five degrees of mobility has been considered.

The reported results could be used during the design, implementation, modernization, and operation of manipulators.

Keywords: kinematic scheme, grab pole, coordinate conversion, workspace, reach limits.

References

- Grigoriev, S. N., Andreev, A. G., Ivanovsky, S. P. (2013). Present State and Prospects of Industrial Robotics. *Mehatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*, 1, 30–34.
- Schwandt, A., Yuschenko, A. S. (2013). Industrial robot application for advanced mechanical shaping technologies. *Robototekhnika i tehnikeskaya kibernetika*, 1 (1), 18–21.
- Tang, M., Gu, Y., Wang, S., Liang, Q., Wang, X. (2019). Planning of safe working space for the hot-line working robot ICBot. *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, 61 (1), 97–110. doi: <https://doi.org/10.3233/jae-180057>
- Hou, R. G., Gao, J., Li, Z. Y., Wang, S. J., Zhao, G. Y. (2012). Analysis of the Movable Cotton Robot Palletizer Working Space Based on Graphing Method. *Advanced Materials Research*, 500, 454–459. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.500.454>
- Goritov, A. N. (2017). Building a three-dimensional model of the workspace of an industrial robot. *Proceedings of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics*, 20 (4), 117–121. doi: <https://doi.org/10.21293/1818-0442-2017-20-4-117-121>
- Antoshkin, S. B., Bakanov, M. V., Sizykh, V. N. (2019). An autonomous robot control system based on an inverse problems method in dynamics. *Modern Technologies. System Analysis. Modeling*, 62 (2), 15–23. doi: [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2019.2\(62\).15-23](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2019.2(62).15-23)
- Khomchenko, V. G. (2018). About ways of the task of orientation of the working body of the robot manipulator. *Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines*, 6 (2), 76–81. doi: <https://doi.org/10.25206/2310-9793-2018-6-2-76-81>
- He, B., He, X. L., Han, L. Z., Cao, J. T., Li, M., Tian, Y. Z. (2010). Working Space Analysis and Simulation of Modular Service Robot Arm Based on Monte Carlo Method. *Applied Mechanics and Materials*, 34–35, 1104–1108. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.34-35.1104>
- Lopatin, P. K. (2012). Algoritm issledovaniya dostizhimosti obekta manipulyatorom v neizvestnoy srede. *Mehanotronika, avtomatizatsiya, upravlenie*, 9, 49–52.
- Lopatin, P. (2019). Manipulator control in an unknown static environment. *Robotics and Technical Cybernetics*, 7 (1), 58–64. doi: <https://doi.org/10.31776/rtcj.7108>
- Xie, B. (2012). Motion Planning of Reaching Point Movements for 7R Robotic Manipulators in Obstacle Environment Based on Rapidly-exploring Random Tree Algorithm. *Journal of Mechanical Engineering*, 48 (03), 63. doi: <https://doi.org/10.3901/jme.2012.03.063>
- Schwandt, A., Yuschenko, A. (2020). Collaborative manipulation robots programming with the use of augmented reality interface. *Robotics and Technical Cybernetics*, 8 (2), 139–149. doi: <https://doi.org/10.31776/rtcj.8205>
- Pritykin, F. N., Nefedov, D. E. (2016). Study of the Surfaces Defining the Area Boundaries of the Allowable Configurations of the Mobile Manipulator Mechanism with the Available Forbidden Zones. *Mehatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 17 (6), 407–413. doi: <https://doi.org/10.17587/mau.17.407-413>
- Pritykin, F. N., Nefedov, D. I. (2018). Creating a knowledge base about past experience in the synthesis of arm movements of an android robot based on the use of the area of allowed configurations. *Software systems and computational methods*, 4, 60–67. doi: <https://doi.org/10.7256/2454-0714.2018.4.26638>
- Karavaev, Yu. L., Shestakov, V. A. (2018). Construction of a Service Area of a Highly Maneuverable Mobile Manipulation Robot. *Intelligent Systems in Manufacturing*, 16 (3), 90–96. doi: <https://doi.org/10.22213/2410-9304-2018-3-90-96>
- Li, W., Xiong, R. (2019). Dynamical Obstacle Avoidance of Task-Constrained Mobile Manipulation Using Model Predictive Control. *IEEE Access*, 7, 88301–88311. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2925428>
- Krasnov, A. Y., Chepinskiy, S. A., Yifan, C., Huimin, L., Kholunin, S. A. (2017). Trajectory control for a robot motion in presense of moving obstacles. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 17 (5), 790–797. doi: <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2017-17-5-790-797>
- Korsakov, A., Astapova, L., Smirnova, E. (2020). Object-oriented reconstruction of manipulator's working area by point cloud. *Robotics and Technical Cybernetics*, 8 (3), 198–205. doi: <https://doi.org/10.31776/rtcj.8305>
- Ashchepkova, N. (2015). Mathcad in the kinematic and dynamic analysis of the manipulator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (77)), 54–63. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51105>
- Kolyubin, S. A. (2017). *Dinamika robototekhnicheskikh sistem*. Sankt-Peterburg: Universitet ITMO, 117.
- Maxfield, B. (2009). *Essential Mathcad for Engineering, Science, and Math*. Academic Press, 528. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374783-9.x0001-x>
- Yurevich, E. I. (2017). *Osnovy robototekhniki*. Sankt-Peterburg: BHV-Peterburg, 304.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.224638**ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ ДОВГОБАЗНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ З ПРУЖНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ В ПОВЗДОВЖНІХ БАЛКАХ (с. 6–13)****С. В. Панченко, О. В. Фомін, Г. Л. Ватуля, О. В. Устенко, А. О. Ловська**

Проведено дослідження динамічної навантаженості та міцності удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи. Особливістю вагона є наявність в основних повздовжніх балках рами пружних елементів. Це дозволить підвищити втомну міцність несучої конструкції вагона-платформи при експлуатаційних режимах.

Для визначення динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи проведено математичне моделювання. До уваги прийняті коливання підсакування. Встановлено, що вертикальне прискорення несучої конструкції вагона-платформи у порожньому стані складає близько $2,0 \text{ м/с}^2$ ($0,2 \text{ g}$). При цьому вертикальні прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи, нижчі на 15 % у порівнянні з вагоном-прототипом.

Визначено основні показники міцності несучої конструкції вагона-платформи. Розрахунок проведений за методом скінчених елементів в програмному комплексі SolidWorks Simulation (Франція). При складанні розрахункової схеми враховано, що несуча конструкція вагона-платформи завантажена чотирма контейнерами типорозміру 1СС. Максимальні еквівалентні напруження при цьому виникають у зоні взаємодії шворневої балки з розкосами та складають 254,0 МПа. Тобто міцність несучої конструкції вагона-платформи забезпечується.

Визначено чисельні значення прискорень несучої конструкції вагона-платформи та поля їх дислокації шляхом комп'ютерного моделювання.

Досліджено втомну міцність та власні частоти коливань несучої конструкції вагона-платформи, а також розраховано проектний строк її служби.

Проведені дослідження сприятимуть створенню інноваційних конструкцій вагонів-платформ, а також підвищенню ефективності експлуатації комбінованих перевезень.

Ключові слова: вагон-платформа, несуча конструкція, динамічна навантаженість, міцність конструкції, втомна міцність, транспортна механіка, залізничний транспорт.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225090**ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗНІМНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВЕЛИКОТОННАЖНИХ КОНТЕЙНЕРІВ ДОВЖИНОЮ 20 ТА 40 ФУТІВ НА УНІВЕРСАЛЬНІЙ ПЛАТФОРМІ (с. 14–21)****В. Ю. Шапошник, О. А. Шикунів, О. Г. Рейдемейстер, Л. А. Мурадян, О. О. Потапенко**

Важливе місце на ринку транспортних послуг займають контейнерні перевезення. Залізничний транспорт, особливо в умовах зростаючої конкуренції з боку автомобільного транспорту, повинен швидко реагувати на потреби ринку та зростаючий попит на контейнерні перевезення, в тому числі, і в міждержавному сполученні. Попит на контейнерні перевезення протягом року може значно змінюватися, що свідчить про доцільність впровадження знімного обладнання на універсальних вагонах які залучаються до перевезення контейнерів. Розроблена конструкція знімної рами для універсальної платформи яка дозволить перевозити два 20-футові або один 40-футовий контейнер. Запропоноване технічне рішення не потребує внесення змін в конструкцію вагона та зміни його моделі, а при зменшенні попиту на контейнерні перевезення дозволить використовувати цей вагон за його основним призначенням.

Згідно з діючою методикою, визначені зусилля, які діють на раму при перевезенні контейнерів. Запропонована конструкція була розрахована на міцність методом скінчених елементів. Максимальні напруження, що виникають в запропонованій конструкції, становлять 164,4 МПа та виникають в кутах упорів, які кріпляться за стоякові скоби платформи. Отримані значення напружень не перевищують допустимих. Результати розрахунків знімного обладнання свідчать про його достатню міцність. Вимоги до розміщення вантажу на рухомому складі передбачають обов'язкову перевірку вписування у габарит, яка підтвердила, що контейнер, розміщений на рамі, знаходиться в габариті. Запропонована конструкція дозволяє відмовитися від одноразових реквізитів кріплення, підвищити безпеку перевезення контейнерів та сприяє збільшенню конкуренції на ринку контейнерних перевезень.

Ключові слова: універсальна платформа, контейнерні перевезення, знімне обладнання, міцність, метод скінчених елементів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225097**ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНЬ В МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЇ МОСТОВОГО КРАНА ПРИ ВИКОРИСТАННІ ХОДОВИХ КОЛІС НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ (с. 22–31)****Н. М. Фідровська, Є. Д. Слепужніков, І. С. Варченко, С. В. Гарбуз, С. М. Шевченко, М. А. Чиркіна, В. В. Нестеренко**

Запропоновано метод експериментального дослідження напруженого стану металокопункції мостового крана при використанні ходових коліс різної конструкції. Дослідження проводилось на діючому електричному, опорному, двобалковому

мостовому крані вантажопідйомністю 5 т, та прогоном 22,5 м. За допомогою тензорезисторів, зібраних в напівмостову схему та підключених до аналого-цифрового перетворювача Zetlab210 (Росія), були визначені деформації головної балки в момент підйому та переміщення вантажу різної маси. Підйом та переміщення вантажу, було проведено при однакових умовах на штатних колесах вантажного візка та на колесах з еластичною гумовою вставкою. Були отримані графіки деформації головної балки. В подальшому перерахунку отримані залежності напруженого стану в кожному моменті переміщення вантажу при використанні як штатних коліс так і коліс з еластичною гумовою вставкою. Також були виявлені залежності та тривалості коливань, які виникають в продовж циклу підйому та переміщення вантажу. Цикл експериментального дослідження складався з підйому вантажу в крайньому лівому положенні вантажним візком, переміщенні вантажу в крайнє праве положення та повернення вантажного візка з вантажем в початкове положення.

Особливо слід відзначити, що застосування нової, модернізованої конструкції ходових коліс вантажного візка з еластичною гумовою вставкою ефективно гасять коливання в металоконструкції крана.

За підсумками експериментальних досліджень було виявлено зменшення напружень в головній балці мостового крану на 18 % та зменшення пікових вібрацій на 20 секунд при однакових циклах підйому та переміщення вантажу. Також при використанні коліс з еластичною гумовою вставкою зменшується період згасання коливань закінчення циклу переміщення вантажу щонайменше на 30 %.

Ключові слова: тензометрія, напруження, колесо ходове, еластична вставка, мостовий кран, вантажний візок.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225106

ВИЗНАЧЕННЯ ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОЇ ШИРИНИ ВІЛЬНОГО ФЛАНЦЮ СУДНОВОЇ БАЛКИ ЗІ ЗЛАМОМ СТІНКИ (с. 32–40)

В. М. Соков, Л. І. Коростильов

Розроблено залежності для визначення ефективної ширини вільного фланцю в небезпечному перерізі широкополої суднової балки зі зломом стінки/кромки/осі при пружно-пластичному деформуванні в залежності від прикладеного навантаження для ідеально-пластичного матеріалу без зміцнення. Наразі не існує систематичних залежностей для визначення ефективної ширини вільного фланцю балок подібного типу, крім поодиноких випадків. Методика придатна для застосування як для чисто пружного, так і для пружно-пластичного деформування. Для розрахунку напружено-деформованого стану (НДС) використовувався метод скінченних елементів (МСЕ) для вирішення об'ємної задачі теорії пружності та пластичності. Показано, що у вузлі реалізується просте навантаження. Результати отримано в рамках застосування деформаційної теорії пластичності. Найбільше відношення зовнішнього навантаження до границі плинності дорівнює 0,9. Розрахункова схема враховує найбільш несприятливі умови роботи досліджуваного вузла, коли отримуються найбільш безпечні дані. Отримано залежності для теоретичного коефіцієнту концентрації в небезпечному перерізі, який використовується в запропонованій методиці для визначення моменту переходу від пружної стадії деформування до пружно-пластичної. При визначенні ефективної ширини враховано складну роботу фланцю і його депланцію, шляхом визначення компонентів НДС в серединній площині. Доведено життєздатність ідеї проектування компонентів НДС на похилу площину вільного фланцю. При цьому практично має місце (-квазі) плоский напружений стан, придатний для застосування класичних методик визначення ефективної ширини. Запропонована методика спрощує розрахунки міцності досліджуваної балки.

Ключові слова: пружно-пластична ефективна ширина, балка зі зломом осі/кромки/стінки, двотаврова балка, коефіцієнт концентрації.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225112

ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ПЛЕТЕНИХ ПРЕФОРМ (с. 41–50)

А. В. Кондратьєв, О. В. Андрєєв, М. А. Шевцова

Зниження трудомісткості виробництва виробів з композиційних матеріалів в значній мірі забезпечується застосуванням армуючих напівфабрикатів, в яких волокна попередньо утворюють деякий каркас. Серед усього різноманіття армуючих систем особливе місце займають плетені рукава (преформи). Високий ступінь деформованості в непросоченому стані дозволяє укладати цю арматуру на будь-яку поверхню без складок і розрізів, що забезпечує збереження цілісності джгутів. Ця перевага плетених рукавів супроводжується змінною місцевих кутів армування і, як наслідок, змінним характером фізико-механічних характеристик по криволінійній поверхні деталі. Розроблено методику розрахунків фізико-механічних характеристик композита на основі преформ у будь-якій точці деталі залежно від схеми укладання джгутів на криволінійну поверхню. Проаналізована можливість застосування стрижневої моделі композита для опису фізико-механічних характеристик композиційного матеріалу із плетеною арматурою. Суть моделі полягає в тому, що композит моделюється ромбовидною стрижневою системою. Сторони ромба замінюють собою волокна, а діагоналі – зв'язуюче. Для верифікації теоретичних результатів і обґрунтування практичних рекомендацій виконано ряд експериментальних досліджень на основі формування зразків матеріалу із двох типів плетених рукавів з різними кутами армування. Програма експериментальних досліджень передбачала випробування на розтягування, вигин та стискання. Отримана досить гарна збіжність теоретичних і експериментальних даних. Так, для модуля пружності квадрат коефіцієнта кореляції не є меншим 0,95; для коефіцієнта Пуассона не є меншим 0,8; для границь міцності при розтягуванні і стисканні – не є меншим 0,9. Це є обґрунтуванням використання стрижневої моделі для опису розглянутого класу композитів. Використання розробленої методики дозволить підвищити досконалість розглянутого класу конструкцій та отримати раціональні параметри технологічного процесу їх виробництва.

Ключові слова: рукав, премікс, кут армування, стрижнева модель, волокна, зв'язуюче, випробування, розтягування, вигин, стискання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225117**ОЦІНКА ДИНАМІКИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ПРОФІЛЮ ОПОРНОЇ ПОВЕРХНІ (с. 51–62)****І. В. Галич, Р. В. Антощенко, В. М. Антощенко, І. М. Лук'янов, С. М. Дюндик, О. В. Кіс**

Наведено результати теоретичних досліджень динаміки машинно-тракторного агрегату з урахуванням впливу профілю опорної поверхні. Встановлено, що в процесі роботи машинно-тракторний агрегат піддається впливу безлічі зовнішніх факторів, що призводять до зміни вертикальних навантажень на ходову частину та двигун. Складено математичні моделі динаміки трактора та машинно-тракторного агрегату у складі трактора шарнірно-з'єднаної компоновки і причіпної сівалки. Такі моделі дозволяють досліджувати динаміку та коливальні процеси багатоеlementних агрегатів. Сформовано математичну модель динаміки колеса трактора. Визначено швидкості руху та кути орієнтації елементів машинно-тракторного агрегату у просторі. Розраховано вплив профілю опорної поверхні на елементи агрегату при русі по полю, що підготовлено під сівбу та полю після оранки. Теоретичні дослідження впливу профілю опорної поверхні на динаміку машинно-тракторного агрегату виконано на прикладі трактора ХТЗ-242К та сівалки Vega-8 Profi (Україна). При русі рама сівалки має меншу амплітуду віброприскорень ніж трактор. Відповідно, трактор має більшу енергію коливань тому, що трактор спирається на ґрунт через колеса, які мають відповідну жорсткість. Сівалка рухається із заглибленими робочими органами у ґрунт, що приводить до зниження амплітуди коливань. Найбільша енергія амплітуди віброприскорень рами сівалки у вертикальному напрямку спостерігається на частотах 15,9; 23,44; 35,3 та 42,87 Гц. Визначено, що підвищення робочих швидкостей руху сільськогосподарських агрегатів призводить до того, що коливання всіх складових елементів досягають значних величин. Це тягне за собою підвищення динамічних навантажень на ґрунт, і як наслідок, переуцільнення.

Ключові слова: машинно-тракторний агрегат, коливання елементів рами, математична модель колеса, профіль опорної поверхні, амплітуда віброприскорень, спектральна щільність висоти профілю.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225121**РОЗРОБКА МЕТОДУ АНАЛІЗУ ПОТОЧНОГО СТАНУ РОБОЧОГО ПРОСТОРУ МАНІПУЛЯТОРА (с. 63–74)****Н. С. Ащепкова**

Запропоновано метод програмного аналізу поточного стану робочого простору антропоморфного маніпулятора з використанням пакета прикладних програм Mathcad (США). При аналізі робочого простору маніпулятора вирішені наступні підзадачі: розраховані межі досяжності схвату, визначено наявність «мертвих зон» у робочому просторі маніпулятора, побудовано границі робочого простору маніпулятора. Кінематична схема маніпулятора містить, як правило, не менш п'яти ступенів рухливості, тому в тривимірній декартовій системі координат границі робочої зони являють собою поверхні складної геометричної форми. Розроблений автором метод дозволяє побудувати проєкції границь робочої зони маніпулятора на координатні площини в системі відліку, пов'язану з основою робота.

Використання вбудованих функцій Mathcad дозволяє ефективно вирішувати перераховані підзадачі, не витрачаючи часу на розробку спеціального програмного забезпечення. Пакет прикладних програм Mathcad передбачає можливість символічного розв'язку першої задачі кінематики промислового робота, тобто програма генерує аналітичні залежності координат особливої точки P (полоса) схвату від тригонометричних функцій узагальнених координат. Отримані аналітичні залежності використовуються для кінематичного й динамічного аналізу маніпулятора.

Виявлено особливості складання математичних моделей при застосуванні пакета прикладних програм Mathcad. Моделювання руху маніпулятора з урахуванням обмежень у кінематичних парах, потужності приводів і коефіцієнтів тертя дозволяє оптимізувати параметри кінематичної схеми маніпулятора.

Розглянуто приклад аналізу робочого простору антропоморфного маніпулятора з п'ятьма ступенями рухливості.

Представлені результати можуть бути використані на етапі проєктування, впровадження, модернізації і експлуатації маніпуляторів промислових робіт.

Ключові слова: кінематична схема, полюс схвату, перетворення координат, робочий простір, межі досяжності.