

ABSTRACT AND REFERENCES

APPLIED MECHANICS

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.272317

DETERMINING THE INFLUENCE OF IRRADIATION SWELLING ON CREEP AND DAMAGE IN ELEMENTS WITH ORTHOTROPIC MATERIAL PROPERTIES
(p. 6–13)**Dmytro Breslavsky**National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv, UkraineInstitute of Mechanics - Otto von Guericke University,
Magdeburg, GermanyORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3792-5504>**Volodymyr Mietielov**National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2633-6296>**Oksana Tatarinova**National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3090-8469>

This paper reports a method that numerically models the deformation and accumulation of hidden damage in structural elements that are in an inhomogeneous thermal field and are exposed to radiation. Materials considered are those exhibiting orthotropy (transversal isotropy) of long-term properties. The problem is stated as an boundary – initial value one. To solve it, the finite element method and the initial-difference method of time integration are used. To simulate the anisotropy of the process of accumulation of hidden damage, a damage tensor is applied. The development of irradiation swelling strains is described using the equation for a limited temperature range and a specific fluence value. The results of numerical modeling of creep and damage in plates in tension with circular notches, which are in an inhomogeneous temperature field, are considered. The material of the plates is a titanium alloy VT1-0. It was found that the effect of irradiation significantly, up to 6–7 %, increases the level of deformation in the plate. Radiation significantly, by almost 4 times, reduces the time until the completion of the hidden fracture of the plates. It was found that orthotropy of radiation swelling properties leads to redistribution of areas with significant strains and damage values. It has been established that the effect of irradiation swelling also qualitatively changes the nature of the distribution of maximum damage in the plate, which extends to a fairly large area. Such results are due to the additional effect of irradiation swelling strains on the rate of general irreversible deformation and redistribution of stresses.

Keywords: creep, irradiation swelling, modeling, orthotropic material, damage tensor, titanium alloy.

References

- Lemaitre, J. (Ed.) (2001). Handbook of materials behavior models. Academic Press. Available at: <https://www.sciencedirect.com/book/9780124433410/handbook-of-materials-behavior-models>
- Breslavskiy, D. V. (2020). Deformuvannya ta dovhotryvala mitsnist konstruktyvnykh elementiv yadernykh reaktoriv. Kharkiv: Drukarnia Madryd, 249.
- Nordlund, K. (2019). Historical review of computer simulation of radiation effects in materials. Journal of Nuclear Materials, 520, 273–295. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2019.04.028>

- Olander, D. R. (1976). Fundamental aspects of nuclear reactor fuel elements. United States. doi: <https://doi.org/10.2172/7343826>
- Peterson, D. (1982). Swelling in Neutron Irradiated Titanium Alloys. Effects of Radiation on Materials, 260. doi: <https://doi.org/10.1520/stp34350s>
- Mansur, L. K. (2008). Survey of Radiation Effects in Titanium Alloys. USA: Materials Science and Technology Division Oak Ridge National Laboratory. Available at: <https://info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub12339.pdf>
- Tabie, V. M., Li, C., Saifu, W., Li, J., Xu, X. (2020). Mechanical properties of near alpha titanium alloys for high-temperature applications - a review. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 92 (4), 521–540. doi: <https://doi.org/10.1108/aeat-04-2019-0086>
- Leguey, T., Baluc, N., Schäublin, R., Victoria, M. (2005). Temperature dependence of irradiation effects in pure titanium. Philosophical Magazine, 85 (4-7), 689–695. doi: <https://doi.org/10.1080/14786430412331319992>
- Jin, P., Shen, T.-L., Li, J., Yang, Y.-S., Liu, C., Cui, M.-H. (2023). Changes in the microstructure and mechanical properties of Ti–6Al–4V alloys induced by Fe ion irradiation at a high He generation rate. Vacuum, 207, 111639. doi: <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2022.111639>
- Lemaitre, J., Chaboche, J.-L. (1990). Mechanics of Solid Materials. Cambridge University Press. doi: <https://doi.org/10.1017/cbo9781139167970>
- Altenbach, H. (2022). Creep and Damage of Materials at Elevated Temperatures. CISM International Centre for Mechanical Sciences, 1–62. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-04354-3_1
- Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L., Fox, D. (2014). The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics. Butterworth-Heinemann. doi: <https://doi.org/10.1016/c2009-0-26332-x>
- Konkin, V. N., Morachkovskii, O. K. (1987). Creep and long-term strength of light alloys with anisotropic properties. Strength of Materials, 19 (5), 626–631. doi: <https://doi.org/10.1007/bf01524293>
- Breslavskii, D. V., Metelev, V. A., Morachkovskii, O. K. (2015). Anisotropic Creep and Damage in Structural Elements Under Cyclic Loading. Strength of Materials, 47 (2), 235–241. doi: <https://doi.org/10.1007/s11223-015-9653-z>
- Breslavskiy, D. V., Metel'ov, V. O., Morachkovskiy, O. K., Tatarinova, O. A. (2019). Short-Term Creep of St3 Steel Under Low-Frequency Cyclic Loading. Strength of Materials, 51 (5), 753–760. doi: <https://doi.org/10.1007/s11223-019-00124-2>
- Breslavsky, D., Chuprynin, A., Morachkovsky, O., Tatarinova, O., Pro, W. (2019). Deformation and damage of nuclear power station fuel elements under cyclic loading. The Journal of Strain Analysis for Engineering Design, 54 (5-6), 348–359. doi: <https://doi.org/10.1177/0309324719874923>
- Altenbach, H., Breslavsky, D., Mietielov, V., Tatarinova, O. (2019). Short Term Transversally Isotropic Creep of Plates Under Static and Periodic Loading. Advanced Structured Materials, 181–211. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-23869-8_9

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.273974

FATIGUE DETERMINATION OF THE KENAF/PLA COMPOSITE STRUCTURE USING FATIGUE SPECIMEN (ASTM D7791): A COMPUTATIONAL ANALYSIS
(p. 14–20)**Muthana Adil Najim Abbu**

Northern Technical University, Mosul, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8641-7373>

Duaa Talib Hashim

Northern Technical University, Mosul, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3408-5300>

Hasan Mohammed Ahmed Albegmpri

Northern Technical University, Mosul, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1921-1110>

Mustafa Ridha Mezaal

Northern Technical University, Mosul, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2523-8870>

In this investigation, a kenaf/PLA composite specimen was subjected to the fatigue load, and the results were analyzed numerically. Some of the most significant fatigue tool aspects that were looked into were life expectancy, damage, alternative stress, and biaxiality indication. The static structural tool was utilized in order to predict the numerical analysis, and the calculations were performed with the GoodMan theory of fatigue. The loading was completely reversed so that it was equal to 30 kN. When it was discovered that the system could continue to function even after 1e6 cycles had been completed. After applying the alternative load of 30 kN, the biaxiality indication was found to be 0.425, with a minimum value of 0.9. It has been determined how much damage has occurred. The minimum amount of cycles necessary to reach the maximum damage potential is 1000, while the maximum amount of cycles necessary to reach the maximum damage potential is $1.7662 \cdot 10^6$. It has been established that there is another stress that is comparable to this one. Based on the findings of the investigation, it was determined that the fillet regions of the specimen were subjected to a maximum alternative stress of 716.4 MPa. The alternative stress cannot drop below 31.276 MPa under any circumstances. It has been determined that 10^6 cycles have been spent living in total by the calculation. It has been found out that there is not going to be any damage regardless of the number of cycles that pass due to the fact that that number is 1. It was found that the alternative stress could reach a maximum value of 716.4 MPa, so that was the value that was used for the alternative stress.

Keywords: static structural, FEM, Fatigue analysis, kenaf/PLA composite, ASTM D7791.

References

- Shahar, F. S., Hameed Sultan, M. T., Safri, S. N. A., Jawaid, M., Abu Talib, Abd. R., Basri, A. A., Md Shah, A. U. (2022). Fatigue and impact properties of 3D printed PLA reinforced with kenaf particles. *Journal of Materials Research and Technology*, 16, 461–470. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.12.023>
- Travieso-Rodriguez, J. A., Zandi, M. D., Jerez-Mesa, R., Lluma-Fuentes, J. (2020). Fatigue behavior of PLA-wood composite manufactured by fused filament fabrication. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (4), 8507–8516. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.06.003>
- Shahar, F. S., Hameed Sultan, M. T., Safri, S. N. A., Jawaid, M., Abu Talib, Abd. R., Basri, A. A., Md Shah, A. U. (2022). Physical, thermal and tensile behaviour of 3D printed kenaf/PLA to suggest its usability for ankle-foot orthosis – a preliminary study. *Rapid Prototyping Journal*, 28 (8), 1573–1588. doi: <https://doi.org/10.1108/rpj-08-2021-0207>
- Beigpour, R., Shokrollahi, H., Khalili, S. M. R. (2021). Experimental and numerical analysis of a biodegradable hybrid composite under tensile and three-point bending tests. *Composite Structures*, 273, 114255. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114255>
- Azlin, M. N. M., Sapuan, S. M., Zuhri, M. Y. M., Zainudin, E. S. (2022). Effect of stacking sequence and fiber content on mechanical and morphological properties of woven kenaf/polyester fiber reinforced polylactic acid (PLA) hybrid laminated composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 16, 1190–1201. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.12.046>
- Nurazzi, N. M., Shazleen, S. S., Aisyah, H. A., Asyraf, M. R. M., Sabaruddin, F. A., Mohidem, N. A. et al. (2021). Effect of silane treatments on mechanical performance of kenaf fibre reinforced polymer composites: a review. *Functional Composites and Structures*, 3 (4), 045003. doi: <https://doi.org/10.1088/2631-6331/ac351b>
- Samat, N., Sulaiman, M. A., Ahmad, Z., Anuar, H. (2021). A comparative study on the desiccant effect of polypropylene and polylactic acid composites reinforced with different lignocellulosic fibres. *Journal of Applied Science and Engineering*, 24 (2), 223–231. doi: [https://doi.org/10.6180/jase.202104_24\(2\).0011](https://doi.org/10.6180/jase.202104_24(2).0011)
- Lee, C. H., Padzil, F. N. B. M., Lee, S. H., Ainun, Z. M. A., Abdullah, L. C. (2021). Potential for Natural Fiber Reinforcement in PLA Polymer Filaments for Fused Deposition Modeling (FDM) Additive Manufacturing: A Review. *Polymers*, 13 (9), 1407. doi: <https://doi.org/10.3390/polym13091407>
- Radzuan, N. A. M., Tholibon, D., Sulong, A. B., Muhamad, N., Haron, C. H. C. (2020). New processing technique for biodegradable kenaf composites: A simple alternative to commercial automotive parts. *Composites Part B: Engineering*, 184, 107644. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107644>
- Nor Arman, N. S., Chen, R. S., Ahmad, S. (2021). Review of state-of-the-art studies on the water absorption capacity of agricultural fiber-reinforced polymer composites for sustainable construction. *Construction and Building Materials*, 302, 124174. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124174>
- Asim, M., Paridah, M. T., Chandrasekar, M., Shahroze, R. M., Jawaid, M., Nasir, M., Siakeng, R. (2020). Thermal stability of natural fibers and their polymer composites. *Iranian Polymer Journal*, 29 (7), 625–648. doi: <https://doi.org/10.1007/s13726-020-00824-6>
- Chandgude, S., Salunkhe, S. (2021). In state of art: Mechanical behavior of natural fiber-based hybrid polymeric composites for application of automobile components. *Polymer Composites*, 42 (6), 2678–2703. doi: <https://doi.org/10.1002/pc.26045>
- Ilyas, R. A., Zuhri, M. Y. M., Aisyah, H. A., Asyraf, M. R. M., Hassan, S. A., Zainudin, E. S. et al. (2022). Natural Fiber-Reinforced Polylactic Acid, Polyactic Acid Blends and Their Composites for Advanced Applications. *Polymers*, 14 (1), 202. doi: <https://doi.org/10.3390/polym14010202>
- Senthil Muthu Kumar, T., Senthilkumar, K., Chandrasekar, M., Subramaniam, S., Mavinkere Rangappa, S., Siengchin, S., Rajini, N. (2020). Influence of Fillers on the Thermal and Mechanical Properties of Biocomposites: An Overview. *Biofibers and Biopolymers for Biocomposites*, 111–133. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-40301-0_5
- Whitworth, A. H., Tsavdaridis, K. D. (2020). Genetic Algorithm for Embodied Energy Optimisation of Steel-Concrete Composite Beams. *Sustainability*, 12 (8), 3102. doi: <https://doi.org/10.3390/su12083102>
- Xiang, S., Wang, D., Yang, L., Tan, B. (2021). Study on the life cycle simulation method of the temperature field and temperature effect of a steel-concrete composite bridge deck system. *Measurement and Control*, 54 (5-6), 1068–1081. doi: <https://doi.org/10.1177/00202940211020343>
- Cheng, Z., Zhang, Q., Bao, Y., Deng, P., Wei, C., Li, M. (2021). Flexural behavior of corrugated steel-UHPC composite bridge decks. *Engineering Structures*, 246, 113066. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113066>
- Ovuoba, B., Prinz, G. S. (2018). Investigation of residual fatigue life in shear studs of existing composite bridge girders following

- decades of traffic loading. *Engineering Structures*, 161, 134–145. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.02.018>
19. Ferreira, F. P. V., Tsavdaridis, K. D., Martins, C. H., De Nardin, S. (2021). Steel-Concrete Composite Beams with Precast Hollow-Core Slabs: A Sustainable Solution. *Sustainability*, 13 (8), 4230. doi: <https://doi.org/10.3390/su13084230>
 20. Li, C., Lei, Z., Feng, Z., He, W., Tan, L. (2021). Research on static performance of lightweight STC-steel composite deck. *J. Transp. Sci. Eng.*, 37, 26–33. doi: <https://doi.org/10.16544/j.cnki.cn43-1494/u.2021.01.005>
 21. Lee, P.-G., Shim, C.-S., Chang, S.-P. (2005). Static and fatigue behavior of large stud shear connectors for steel–concrete composite bridges. *Journal of Constructional Steel Research*, 61 (9), 1270–1285. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2005.01.007>
 22. Xu, X., Zhou, X., Liu, Y. (2020). Behavior of rubber-sleeved stud shear connectors under fatigue loading. *Construction and Building Materials*, 244, 118386. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118386>
 23. Cao, J., Shao, X., Deng, L., Gan, Y. (2017). Static and Fatigue Behavior of Short-Headed Stud Embedded in a Thin Ultrahigh-Performance Concrete Layer. *Journal of Bridge Engineering*, 22 (5). doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)be.1943-5592.0001031](https://doi.org/10.1061/(asce)be.1943-5592.0001031)
 24. Yang, D. (2021). Analysis of Fracture Mechanics Theory of the First Fracture Mechanism of Main Roof and Support Resistance with Large Mining Height in a Shallow Coal Seam. *Sustainability*, 13 (4), 1678. doi: <https://doi.org/10.3390/su13041678>
 25. Wang, Y., Nie, J. (2009). Fatigue behavior of studs in a composite beam tested on fracture mechanics. *Qinghua Daxue Xuebao/Journal of Tsinghua University*, 49 (9), 1467–1470.
 26. Wu, X., Yu, H., Guo, L., Zhang, L., Sun, X., Chai, Z. (2019). Experimental and numerical investigation of static and fatigue behaviors of composites honeycomb sandwich structure. *Composite Structures*, 213, 165–172. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.01.081>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.274300

CONSTRUCTION OF A HOMOGENEOUS SOLUTION TO THE ELASTICITY THEORY PROBLEM FOR AN INHOMOGENEOUS TRUNCATED TRANSVERSALLY ISOTROPIC CONE (p. 21–31)

Natiq Akhmedov

Azerbaijan State Economic University (UNEC), Baku, Azerbaijan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3071-2549>

Using an asymptotic integration method, this paper investigates the axisymmetric problem of elasticity theory for an inhomogeneous transversal-isotropic truncated cone of small thickness. It is believed that the moduli of elasticity are arbitrary continuous functions of the cone opening angle. It is assumed that the lateral part of the cone is free of stresses, and arbitrary boundary conditions are set at the ends of the cone, leaving it in equilibrium. Homogeneous solutions have been constructed, that is, all solutions to equilibrium equations that satisfy the condition of absence of stresses on the lateral surfaces of the cone. Three groups of solutions were derived: a penetrating solution, solutions such as a simple edge effect, as well as the boundary layer solutions. An analysis of the stressed-strained state was carried out. It is shown that the penetrating solution and solutions having the character of a boundary effect determine the internal stressed-strained state of the cone. Solutions having the character of a boundary layer are localized at the ends of the cone and its first terms are equivalent to the edge effect of the Saint-Venant inhomogeneous plate.

A particular type of inhomogeneous transversal-isotropic cone of small thickness with the degeneration of its median surface into

a plane has been studied. It is shown that this case of degeneration is special, and the solutions consist of a penetrating solution and a solution of the nature of the boundary layer.

Asymptotic formulas have been derived that make it possible to calculate the stressed-strained state of an inhomogeneous transversal-isotropic cone of small thickness. On the basis of the obtained solutions, it is possible to build a new refined applied theory and determine the applicability of existing applied theories for conical shells. New classes of solutions have been identified that no applied theory can describe.

Keywords: inhomogeneous transversal-isotropic truncated cone, homogeneous solutions, opening angle, median surface, boundary layer.

References

1. Ulitko, A. F. (2002). The vectors' expansion in the space elasticity theory. Kyiv: Akadempriodika.
2. Vaisfel'd, N. D., Popov, G. Ya. (2014). Torsion of a Truncated Conically Layered Elastic Cone. *Journal of Mathematical Sciences*, 203 (1), 134–148. doi: <https://doi.org/10.1007/s10958-014-2096-4>
3. Thompson, T. R., Little, R. W. (1970). End effects in a truncated semi-infinite cone. *The Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics*, 23 (2), 185–196. doi: <https://doi.org/10.1093/qjmam/23.2.185>
4. Khomasudridze, N. G. (2003). The thermoelastic equilibrium of conical bodies. *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, 67 (1), 111–120. doi: [https://doi.org/10.1016/s0021-8928\(03\)80001-1](https://doi.org/10.1016/s0021-8928(03)80001-1)
5. Popov, G. Ya. (2005). Axisymmetric problems of the theory of elasticity for a truncated hollow cone. *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, 69 (3), 417–426. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jappmathmech.2005.05.009>
6. Vaysfel'd, N. D., Reut, A. V. (2013). Osesimmetrichnaya smeshannaya zadacha teorii uprugosti dlya pologo dvazhdyy usechennogo konusa. *Vestnik Kievskogo natsional'nogo universiteta*, 3, 93–97.
7. Mysov, K. D., Vaysfeld, N. D. (2018). Steady state torsion of twice truncated elastic cone. *Young Scientist*, 10 (1), 119–122. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/molv_2018_10%281%29_29
8. Nuller, B. M. (1967). K resheniyu zadachi teorii uprugosti ob usechennom konuse. *Izvestiya AN SSSR, Mekhanika tverdogo tela*, 5, 102–110.
9. Mekhtiev, M. F., Ustinov, Yu. A. (1970). Asimptoticheskoe povedenie resheniya osesimmetrichnoy zadachi teorii uprugosti dlya pologo konusa. *Trudy 7-y Vsesoyuznoy konferentsii po teorii obolochek i plastinok. Dnepropetrovsk*, 425–427.
10. Mekhtiev, M. F., Ustinov, Yu. A. (1971). Asimptoticheskoe issledovanie resheniya zadachi teorii uprugosti dlya pologo konusa. *Prikladnaya matematika i mekhanika*, 35 (6), 1108–1115.
11. Mekhtiev, M. F., Salmanov, V. S. (1985). Ravnovesie uprugogo pologo konusa s zakreplennoy bokovoy poverkhnost'yu. *Izvestiya AN Azerb. SSR, Seriya fiz.-tekhn. i matem. nauk.*, 5, 144–147.
12. Mekhtiev, M. F. (2018). Vibrations of hollow elastic bodies. Springer, 212. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-74354-7>
13. Mekhtiev, M. F. (2019). Asymptotic analysis of spatial problems in elasticity. Springer, 241. doi: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-3062-9>
14. Akhmedov, N. K., Mekhtiev, M. F. (1993). Analiz trekhmernoy zadachi teorii uprugosti dlya neodnorodnogo usechennogo pologo konusa. *Prikladnaya matematika i mekhanika*, 57 (5), 113–119.
15. Akhmedov, N. K. (1994). Kruchenie neodnorodnogo pologo konusa maloy tolschiny. *Prikladnaya mekhanika*, 30 (3), 62–66.
16. Akhmedov, N. K., Shirinov, T. V. (2002). Asymptotic analysis of a space problem of elasticity theory for nonhomogeneous hollow cone of small thickness. *Transactions of NAS of Azerbaijan*, XXII (4),

- 197–203. Available at: https://transmech.imm.az/old/volume/old_volume/cild22_N4_2002/meqaleler/197-203.pdf
17. Mekhtiev, M. F., Sardarova, N. A., Fomina, N. I. (2003). Asimptoticheskoe povedenie resheniya osesimmetrichnoy zadachi teorii uprugosti dlya transversal'no-izotropnogo pologo konusa. *Izvestiya RAN, Mekhanika tverdogo tela*, 2, 61–70.
 18. Mekhtiev, M. F., Ustinov, Yu. A. (1971). Asimptoticheskoe povedenie resheniya zadachi teorii uprugosti dlya plity peremennoy tolschiny. *Trudy 8-y Vsesoyuznoy konferentsii po teorii obolochek i plastinok*. Rostov-na Donu.
 19. Akhmedov, N. K., Mekhtiev, M. F. (1995). Osesimmetrichnaya zadacha teorii uprugosti dlya neodnorodnoy plity peremennoy tolschiny. *Prikladnaya matematika i mekhanika*, 59 (3), 518–7523.
 20. Mekhtiev, M. F., Amrahova, A. R. (2003). Zadacha izgiba dlya transtropnoy plity peremennoy tolschiny. *Trudy III Vserossiyskiy konferentsii po teorii upru gosti*. Rostov-na-Donu.
 21. Mekhtiev, M. F., Mardanov, I. D., Amrahova, R. A. (2002). Asymptotic analysis of bending problem for transversal-isotropic plate of variable thickness. *Transactions of NAS of Azerbaijan, physical-technical and mathematical sciences*, 4, 223–236.
 22. Mekhtiev, M. F. (2006). Construction of homogeneous solutions of a non-axially-symmetric tension problem of elasticity theory for transversely isotropic plates of variable thickness. *Transactions of NAS of Azerbaijan, physical-technical and mathematical sciences*, XXVI (1), 177–186.
 23. Lur'e, A. I. (1970). *Teoriya uprugosti*. Moscow: Nauka.
 24. Gol'denveyzer, A. L. (1963). Postroenie priblizhennoy teorii izgiba obolochki pri pomoschi asimptoticheskogo integrirovaniya uravneniy teorii uprugosti. *Prikladnaya matematika i mekhanika*, 27 (4), 593–608.
 25. Akhmedov, N. K., Sofiyev, A. H. (2019). Asymptotic analysis of three-dimensional problem of elasticity theory for radially inhomogeneous transversally-isotropic thin hollow spheres. *Thin-Walled Structures*, 139, 232–241. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.03.022>
 26. Akhmedov, N., Akbarova, S., Ismayilova, J. (2019). Analysis of axisymmetric problem from the theory of elasticity for an isotropic cylinder of small thickness with alternating elasticity modules. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (98)), 13–19. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.162153>
 27. Akhmedov, N., Akbarova, S. (2021). Behavior of solution of the elasticity problem for a radial inhomogeneous cylinder with small thickness. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (114)), 29–42. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.247500>
 28. Ustinov, Yu. A. (2006). *Matematicheskaya teoriya poperechno-neodnorodnykh plit*. Rostov-na Donu.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.274573

IDENTIFYING SOME REGULARITIES OF THE FATIGUE BEHAVIOR OF THE REINFORCED CARBON-FIBER WITH Al_2O_3 NANOPARTICLES COMPOSITE STRUCTURE OF THE PROSTHESIS FOOT (p. 32–39)

Ali Talib Shomran

Al-Furat Al-Awsat Technical University, Babil, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6923-0910>

Batool Mardan Faisal

Wasit University, Wasit, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0024-274X>

Emad Kamil Hussein

Al-Furat Al-Awsat Technical University, Babil, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3831-1659>

Thiago Santos

Federal University of Rio Grande do Norte,
Rio Grande do Norte, Brazil
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0791-2059>

Kies Fatima

University of Milano-Bicocca, Milano, Italy
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0230-0328>

In this research Carbon-Fiber with Al_2O_3 Nanoparticles Composite Structure of the Prosthesis foot has been examined and analysed numerically explain the fatigue behaviour of the prosthesis. Nanoparticles made of Al_2O_3 were incorporated into the production process of the composite structure of the prosthesis foot in the appropriate manner. The life forecast, the damage indicator, and the Biaxiliray indexation were the three primary considerations that went into the process of studying the composite construction of the prosthesis foot. The life prediction was the most important factor. Experiments on the phenomena of fatigue have been carried out with the stress being entirely reversed as the variable in order to ensure that the findings are in keeping with the theory that was proposed by Goodman. In order to develop an estimate for these characteristics, the dynamic load that was applied, which was 1000 N, was utilised. It used the dynamic load that was applied in order to produce an estimate for these characteristics so that we could better understand them. The results of the computational research showed that the life prediction could be increased to 10^6 cycles by applying a primary force of 1000 N. This was shown by the findings of the study. This was demonstrated by the findings. While the same load application was being carried out, the Biaxiliray indexation attained a value of 0.99. In addition to the research that was done on the damage indicator, the numerical findings demonstrated that the damage can be seen after the initial 1000 cycles of stress have been applied. This was demonstrated both by the research that was done on the damage indicator as well as by the numerical findings.

Keywords: fatigue behavior, dynamic load, prosthesis foot, numerical analysis, life prediction.

References

1. Shen, W. (2021). Characteristics study of carbon fibre material for BioApps RoMicP® foot prosthesis. *Universiti Malaya*. Available at: <http://studentsrepo.um.edu.my/13131/>
2. Jerry, A. H., Chiad, J. S., Abbod, W. S. (2021). Boosting Mechanical Properties of Orthoses - Foot Ankle by Adding Carbon Nanotube Particles. *Materials Science Forum*, 1039, 518–536. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1039.518>
3. Kadhim, A. A., Abbod, E. A., Muhammad, A. K., Resan, K. K., Al-Waily, M. (2021). Manufacturing and analyzing of a new prosthetic shank with adapters by 3D printer. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 44 (3), 383–391. Available at: [https://jmerd.net/Paper/Vol.44.No.3\(2021\)/383-391.pdf](https://jmerd.net/Paper/Vol.44.No.3(2021)/383-391.pdf)
4. Kumar, S., Bhowmik, S. (2022). Potential use of natural fiber-reinforced polymer biocomposites in knee prostheses: a review on fair inclusion in amputees. *Iranian Polymer Journal*, 31 (10), 1297–1319. doi: <https://doi.org/10.1007/s13726-022-01077-1>
5. Wen, T.-C., Jacobson, M., Zhou, X., Chung, H.-J., Kim, M. (2020). The personalization of stiffness for an ankle-foot prosthesis emulator using Human-in-the-loop optimization. *2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. doi: <https://doi.org/10.1109/iros45743.2020.9341101>
6. Blaya Haro, F., D'Amato, R., Luján González, A., Blaya San Pedro, A., Nuere, S. (2020). Analysis Method for The Design and Manufacture of Sports Transtibial Prostheses. *Eighth International Conference*

- on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality. doi: <https://doi.org/10.1145/3434780.3436632>
7. Ismawan, A. R., Ismail, R., Prahasto, T., Ariyanto, M., Setiyana, B. (2022). A Review of Existing Transtibial Bionic Prosthesis: Mechanical Design, Actuators and Power Transmission. *Journal of Biomedical Science and Bioengineering*, 1 (2), 65–72. doi: <https://doi.org/10.14710/jbiomes.2021.v1i2.65-72>
 8. Chergui, K., Ameddah, H., Mazouz, H. (2018). Biomechanical analysis of fatigue behavior of a fully composite-based designed hip resurfacing prosthesis. *Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics*, 12 (2), 80–94. doi: <https://doi.org/10.24874/jsscm.2018.12.02.06>
 9. Deng, L., Barton, B., Lorenzo, J., Rashid, H., Dastouri, F., Booy, R. (2021). Longer term outcomes following serogroup B invasive meningococcal disease. *Journal of Paediatrics and Child Health*, 57 (6), 894–902. doi: <https://doi.org/10.1111/jpc.15350>
 10. Akhtar, S., Saad, M., Pandey, P. (2018). Overview of Current Advances in The Development of Polymer Composite in Biomedical Applications. *Materials Today: Proceedings*, 5 (9), 20217–20223. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.392>
 11. Tabucol, J., Kooiman, V. G. M., Leopaldi, M., Brugo, T. M., Leijendekkers, R. A., Tagliabue, G. et al. (2022). The Functionality Verification through Pilot Human Subject Testing of MyFlex- δ : An ESR Foot Prosthesis with Spherical Ankle Joint. *Applied Sciences*, 12 (9), 4575. doi: <https://doi.org/10.3390/app12094575>
 12. Saad, M., Akhtar, S., Srivastava, S. (2018). Composite Polymer in Orthopedic Implants: A Review. *Materials Today: Proceedings*, 5 (9), 20224–20231. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.393>
 13. Alimi, L., Menail, Y., Chaoui, K., Kechout, K., Mabrouk, S., Zeghib, N. et al. (2020). Mechanical Strength Analysis and Damage Appraisal in Carbon/Perlon/Epoxy Composite for Orthopedic Prostheses. *Proceedings of the 4th International Symposium on Materials and Sustainable Development*, 23–33. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-43211-9_3
 14. Taberno, A., González-Garcinuño, Á., Cardea, S., Martín del Valle, E. (2022). Supercritical carbon dioxide and biomedicine: Opening the doors towards biocompatibility. *Chemical Engineering Journal*, 444, 136615. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.136615>
 15. McGeehan, M. A., Karipott, S. S., Hahn, M. E., Morgenroth, D. C., Ong, K. G. (2021). An Optoelectronics-Based Sensor for Measuring Multi-Axial Shear Stresses. *IEEE Sensors Journal*, 21 (22), 25641–25648. doi: <https://doi.org/10.1109/jsen.2021.3117935>
 16. Corro, H., Vidal Lesso, A., Ledesma Orozco, E. R., Palacios Pineda, L. M. (2020). Structural analysis of a new total ankle replacement prosthesis with internal structure. *DYNA*, 95 (1), 192–197. doi: <https://doi.org/10.6036/9267>
 17. Acosta-Sánchez, L. A., Botello-Arredondo, A. I., Moya-Bencomo, M. D., Zúñiga-Aguilar, E. S. (2020). Porous lattice structure of femoral stem for total Hip arthroplasty. *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, 41 (1), 69–79. doi: <https://doi.org/10.17488/rmib.41.1.5>
 18. Ghosh, U., Ning, S., Wang, Y., Kong, Y. L. (2018). Addressing Unmet Clinical Needs with 3D Printing Technologies. *Advanced Healthcare Materials*, 7 (17), 1800417. doi: <https://doi.org/10.1002/adhm.201800417>
 19. Summers, S. H., Zachwieja, E. C., Butler, A. J., Mohile, N. V., Pretell-Mazzini, J. (2019). Proximal Tibial Reconstruction After Tumor Resection. *JBJS Reviews*, 7 (7), e1–e1. doi: <https://doi.org/10.2106/jbjs.rvw.18.00146>
 20. Mu, M. duo, Yang, Q. dong, Chen, W., Tao, X., Zhang, C. ke, Zhang, X. et al. (2021). Three dimension printing talar prostheses for total replacement in talar necrosis and collapse. *International Orthopaedics*, 45 (9), 2313–2321. doi: <https://doi.org/10.1007/s00264-021-04992-9>
 21. Manuel Javier, R. S., Dávalos Ramírez, J. O., Molina Salazar, J., Ruiz Ochoa, J. A., Gómez Roa, A. (2021). Optimization of Running Blade Prosthetics Utilizing Crow Search Algorithm Assisted by Artificial Neural Networks. *Strojnikski Vestnik – Journal of Mechanical Engineering*, 67 (3), 88–100. doi: <https://doi.org/10.5545/sv-jme.2020.6990>
 22. Liza, S., Shahemi, N. H., Yee, T. M., Khadijah Syed, S., Puad, M. (2021). Biomedical Tribology. *Tribology and Sustainability*, 353–377. doi: <https://doi.org/10.1201/9781003092162-23>
 23. Bello, S. A., Kolawole, M. Y. (2020). Recycled Plastics and Nanoparticles for Green Production of Nano Structural Materials. *Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications*, 1–33. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-11155-7_93-1
 24. Estay, D., Basoalto, A., Ardila, J., Cerda, M., Barraza, R. (2021). Development and Implementation of an Anthropomorphic Under-actuated Prosthesis with Adaptive Grip. *Machines*, 9 (10), 209. doi: <https://doi.org/10.3390/machines9100209>
 25. Carty, M. J., Herr, H. M. (2021). The Agonist-Antagonist Myoneural Interface. *Hand Clinics*, 37 (3), 435–445. doi: <https://doi.org/10.1016/j.hcl.2021.04.006>
 26. Bermudez, D. A., Avitia, R. L., Reyna, M. A., Camarillo, M. A., Bravo, M. E. (2022). Energy expenditure in lower limb amputees with prosthesis. *2022 Global Medical Engineering Physics Exchanges/ Pan American Health Care Exchanges (GMEPE/PAHCE)*. doi: <https://doi.org/10.1109/gmepe/pahce55115.2022.9757804>
 27. Whitehead, K. A., El Mohtadi, M., Slate, A. J., Vaidya, M., Wilson-Nieuwenhuis, J. (2021). The Effects of Surface Properties on the Antimicrobial Activity and Biotoxicity of Metal Biomaterials and Coatings. *The Chemistry of Inorganic Biomaterials*, 231–289. doi: <https://doi.org/10.1039/9781788019828-00231>
 28. Lee, I.-C., Fylstra, B. L., Liu, M., Lenzi, T., Huang, H. (2022). Is there a trade-off between economy and task goal variability in transfemoral amputee gait? *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 19 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s12984-022-01004-8>
 29. Russell, C., Roche, A. D., Chakrabarty, S. (2019). Peripheral nerve bionic interface: a review of electrodes. *International Journal of Intelligent Robotics and Applications*, 3 (1), 11–18. doi: <https://doi.org/10.1007/s41315-019-00086-3>
 30. Zafar, M. S. (2020). Prosthodontic Applications of Polymethyl Methacrylate (PMMA): An Update. *Polymers*, 12 (10), 2299. <https://doi.org/10.3390/polym12102299>
 31. Ahmed, W., Siraj, S., Alnajjar, F., Al Marzouqi, A. H. (2021). 3D Printed Implants for Joint Replacement. *Applications of 3D Printing in Biomedical Engineering*, 97–119. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-33-6888-0_4
 32. Nair, V. S., Nachimuthu, R. (2022). The role of NiTi shape memory alloys in quality of life improvement through medical advancements: A comprehensive review. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 236 (7), 923–950. doi: <https://doi.org/10.1177/09544119221093460>
 33. Nykyforov, A., Antoshchenkov, R., Halych, I., Kis, V., Polyansky, P., Koshulko, V. et al. (2022). Construction of a regression model for assessing the efficiency of separation of lightweight seeds on vibratory machines involving measures to reduce the harmful influence of the aerodynamic factor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (116)), 24–34. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253657>
 34. Khudov, H., Makoveichuk, O., Misiuk, D., Pievtsov, H., Khizhnyak, I., Solomonenko, Y. et al. (2022). Devising a method for processing the image of a vehicle's license plate when shooting with a smartphone camera. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (2 (115)), 6–21. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252310>

35. Kovalchuk, V., Sobolevska, Y., Onyshchenko, A., Bal, O., Kravets, I., Pentsak, A. et al. (2022). Investigating the influence of the diameter of a fiberglass pipe on the deformed state of railroad transportation structure “embankment-pipe.” *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (116)), 35–43. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254573>
36. Sharaf, H. K., Ishak, M. R., Sapuan, S. M., Yidris, N. (2020). Conceptual design of the cross-arm for the application in the transmission towers by using TRIZ–morphological chart–ANP methods. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (4), 9182–9188. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.05.129>
37. Sharaf, H. K., Ishak, M. R., Sapuan, S. M., Yidris, N., Fattahi, A. (2020). Experimental and numerical investigation of the mechanical behavior of full-scale wooden cross arm in the transmission towers in terms of load-deflection test. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (4), 7937–7946. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.04.069>
38. Sharaf, H. K., Salman, S., Abdulateef, M. H., Magizov, R. R., Troitskii, V. I., Mahmoud, Z. H. et al. (2021). Role of initial stored energy on hydrogen microalloying of ZrCoAl(Nb) bulk metallic glasses. *Applied Physics A*, 127 (1). doi: <https://doi.org/10.1007/s00339-020-04191-0>
39. Noori Hamzah, M., Abdulhessen Gatta, A. (2019). Dorsiflexion and Plantarflexion Test and Analysis for a new Carbon Fiber Ankle-Foot Prosthesis. *University of Thi-Qar Journal for Engineering Sciences*. doi: [https://doi.org/10.31663/tqujes.10.1.355\(2019\)](https://doi.org/10.31663/tqujes.10.1.355(2019))

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.270988

DETERMINATION OF DYNAMIC AND TRACTION-ENERGY INDICATORS OF ALL-WHEEL-DRIVE TRACTION-TRANSPORT MACHINE (p. 40–47)

Roman Antoshchenkov

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

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

Serhii Bogdanovich

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0527-4102>

Ivan Halych

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

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

Halyna Cherevatenko

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8972-3875>

The results of a study of dynamic and traction-energy indicators of an all-wheel drive wheeled traction-transport machine are presented. A diagram of a dynamic transmission model for an all-wheel drive wheeled traction and transport machine and a system of equations for the transmission dynamics in the Cauchy form have been compiled. This made it possible to determine the dependences of the angular speeds of rotation of the transmission elements of the traction-transport machine, the dependences of the torques and the dependences of the contacting traction forces on the wheels on time. The method allows to determine the optimal transmission parameters, differential designs and gear ratios to improve the traction and coupling and fuel-economic performance of the machine. It has been established that the angular speeds of rotation of the front wheels of the traction-transport machine 1.29 rad/s, 1.27 rad/s are higher than the angular speeds of rotation of the rear wheels 1.24 rad/s, 1.25 rad/s, which leads to the appearance of a kinematic discrepancies and additional energy losses. The torques of the front

drive wheels are 6972 Nm, the rear drive wheels are 4622 Nm. The contacting traction forces on the front wheels of the machine are 5478 N after the end of the acceleration of the machine, on the rear wheels – 3473 N. Experimental studies were carried out on the example of an all-wheel drive wheeled tractor with an articulated frame to validate the method for assessing the dynamics of the traction-transport transmission. The difference between the values of the angular speeds of rotation of the wheels and the tangential traction forces on the wheels, determined theoretically and obtained during experimental studies, is 2 %. The developed method for assessing the transmission dynamics of an all-wheel drive traction and transport machine should be considered valid. The method proposed in the paper can be used to assess the dynamics of wheeled machines.

Keywords: angular velocity of rotation, torque, tangential traction force, all-wheel drive wheeled traction and transport machine.

References

1. 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>
2. Antoshchenkov, R., Halych, I., Nykyforov, A., Cherevatenko, H., Chyzhykov, I., Sushko, S. et al. (2022). Determining the influence of geometric parameters of the traction-transportation vehicle’s frame on its tractive capacity and energy indicators. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (116)), 60–61. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254688>
3. 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>
4. Osadchyy, V., Nazarova, O., Brylysty, V. (2021). Laboratory Stand for Research of Energy Characteristics of Electric Vehicle Drives. 2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). doi: <https://doi.org/10.1109/mees52427.2021.9598661>
5. Osadchyy, V., Nazarova, O., Olieinikov, M. (2021). The Research of a Two-Mass System with a PID Controller, Considering the Control Object Identification. 2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). doi: <https://doi.org/10.1109/mees52427.2021.9598542>
6. Voloshina, A., Panchenko, A., Titova, O., Milaeva, I., Pastushenko, A. (2021). Prediction of Changes in the Output Characteristics of the Planetary Hydraulic Motor. *Advanced Manufacturing Processes II*, 744–754. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-68014-5_72
7. Panchenko, A., Voloshina, A., Luzan, P., Panchenko, I., Volkov, S. (2021). Kinematics of motion of rotors of an orbital hydraulic machine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1021 (1), 012045. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1021/1/012045>
8. Adamchuk, V., Petrychenko, I., Korenko, M., Beloev, H., Borisov, B. (2018). Study plane-parallel motion movement combined seeding unit. *Mechanization in agriculture & Conserving of the resources*, 64 (6), 184–187. Available at: <https://stumejournals.com/journals/am/2018/6/184>
9. Awadallah, M., Tawadros, P., Walker, P., Zhang, N. (2017). Dynamic modelling and simulation of a manual transmission based mild hybrid vehicle. *Mechanism and Machine Theory*, 112, 218–239. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2017.02.011>
10. Tian, Y., Ruan, J., Zhang, N., Wu, J., Walker, P. (2018). Modelling and control of a novel two-speed transmission for electric vehicles. *Mechanism and Machine Theory*, 127, 13–32. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2018.04.023>
11. Dong, H., Zhuang, W., Chen, B., Wang, Y., Lu, Y., Liu, Y. et al. (2022). A comparative study of energy-efficient driving strategy

- for connected internal combustion engine and electric vehicles at signalized intersections. *Applied Energy*, 310, 118524. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118524>
12. Morselli, R., Zanasi, R., Sandoni, G. (2006). Detailed and reduced dynamic models of passive and active limited-slip car differentials. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, 12 (4), 347–362. doi: <https://doi.org/10.1080/13873950500066959>
 13. Tajanowskij, G., Tanaš, W. (2012). Analysis of movement kinematics at turn of wheel tractor with semi-trailer with articulated operated draught bar. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 57 (2), 190–196. Available at: http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BAR8-0019-0058/c/httpwww_pimr_poznan_plbiul2012237tt.pdf
 14. Padureanu, V., Lupu, M. I., Canja, C. M. (2013). Theoretical research to improve traction performance of wheeled tractors by using a supplementary driven axle. *Computational Mechanics and Virtual Engineering*. Brasov, 410–415. Available at: <http://aspekt.unitbv.ro/jspui/bitstream/123456789/415/1/410%20-%20415%2c%20Padureanu%201.pdf>
 15. Suhane, A., Rana, R. S., Purohit, R. (2018). Prospects of Torsen Differential in Four Wheel Drive Automobile Transmission System. *Materials Today: Proceedings*, 5 (2), 4036–4045. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.664>
 16. Efimov, A., Polushkin, O., Kireev, S., Korchagina, M. (2021). A Mathematical Model of a Differential Drive with a Limited Gear Ratio. *Transportation Research Procedia*, 54, 699–711. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.123>
 17. Yin, Z., Dai, Q., Guo, H., Chen, H., Chao, L. (2018). Estimation Road Slope and Longitudinal Velocity for Four-wheel Drive Vehicle. *IFAC-PapersOnLine*, 51 (31), 572–577. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.10.139>
 18. Galych, I., Antoshchenkov, R., Antoshchenkov, V., Lukjanov, I., Diundik, S., Kis, O. (2021). Estimating the dynamics of a machine-tractor assembly considering the effect of the supporting surface profile. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (109)), 51–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225117>
 19. Artiomov, N., Antoshchenkov, R., Antoshchenkov, V., Ayubov, A. (2021). Innovative approach to agricultural machinery testing. *Engineering for Rural Development*. Jelgava, 692–698. doi: <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF150>
 20. Antoshchenkov R. (2017). *Dynamika ta enerhetyka rukhu bahatoelementnykh mashynno-traktornykh ahrehativ*. Kharkiv: KhNTUSH, 244. Available at: https://www.academia.edu/43129375/ДИНАМІКА_ТА_ЕНЕРГЕТИКА_РУХУ_БАГАТОЕЛЕМЕНТНИХ_МАШИННО_ТРАКТОРНИХ_АГРЕГАТИВ
 21. 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>
 22. Mittal, A., Misra, A. (2021). A novel mathematical model to estimate the ride frequency of an off road vehicle with experimental validation. *Materials Today: Proceedings*, 46, 9683–9689. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.022>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.272316

REVEALING THE EFFECT OF STRUCTURAL COMPONENTS MADE OF SANDWICH PANELS ON LOADING THE CONTAINER TRANSPORTED BY RAILROAD (p. 48–56)

Glib Vatulia

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3823-7201>

Alyona Lovska

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8604-1764>

Sergiy Myamlin

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9204-4435>

Iraida Stanovska

Odessa Polytechnic National University, Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5884-4228>

Maryna Holofieieva

Odessa Polytechnic National University, Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7632-9027>

Volodymyr Horobets

Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6537-7461>

Volodymyr Nerubatskyi

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4309-601X>

Yevhen Krasnokutskyi

Branch “Scientific Research and Design Technological Institute of Railway Transport” JSC “Ukrainian Railway”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6978-4489>

The object of this study is the processes of emergence, perception, and redistribution of loads in the supporting structure of a 1CC size container with end walls made of sandwich panels.

To reduce the longitudinal load of the container under operational modes, the introduction of sandwich panels into its design is proposed. This solution is implemented on the example of its end walls as the most loaded component of the body in operation.

The thickness of the sandwich panel sheet was determined, provided that the strength in operation is ensured. Mathematical modeling of dynamic load of a container with end walls made of sandwich panels placed on a platform car during shunting co-impact was carried out. It was established that taking into account the proposed improvement makes it possible to reduce the dynamic loads that the container perceives by 10 % compared to the typical structure. The results were confirmed by computer simulation of the dynamic load of the container. The models formed within the framework of the study were verified according to the F-criterion.

The results of calculations for the strength of the container showed that the stresses in its structure are 15 % lower than those in the typical one.

A feature of the findings is that the proposed improvement of the container helps improve its strength in operation by reducing the loads acting on it.

The scope of practical use of the results is the engineering industry, namely, railroad transport. At the same time, the conditions for the practical application of the research results are the introduction of energy-absorbing material as a component of the sandwich panel.

This study will contribute to devising recommendations for designing modern structures of vehicles of a modular type and for improving the efficiency of the transport industry.

Keywords: ISO container, sandwich panel, dynamic container load, container strength, container transportation.

References

1. Qin, S., Zhong, Y., Yang, X., Zhao, M. (2008). Optimization and static strength test of carbody of light rail vehicle. *Journal of Central*

- South University of Technology, 15 (S2), 288–292. doi: <https://doi.org/10.1007/s11771-008-0473-1>
2. Vatulia, G., Lovska, A., Pavliuchenkov, M., Nerubatskyi, V., Okorokov, A., Hordiienko, D. et al. (2022). Determining patterns of vertical load on the prototype of a removable module for long-size cargoes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (120)), 21–29. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266855>
 3. Nerubatskyi, V., Plakhtii, O., Hordiienko, D. (2021). Control and Accounting of Parameters of Electricity Consumption in Distribution Networks. 2021 XXXI International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA). doi: <https://doi.org/10.1109/mma52675.2021.9610907>
 4. Nerubatskyi, V., Plakhtii, O., Hordiienko, D. (2022). Adaptive Modulation Frequency Selection System in Power Active Filter. 2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). doi: <https://doi.org/10.1109/ess57819.2022.9969261>
 5. Shah, K. J., Pan, S.-Y., Lee, I., Kim, H., You, Z., Zheng, J.-M., Chiang, P.-C. (2021). Green transportation for sustainability: Review of current barriers, strategies, and innovative technologies. *Journal of Cleaner Production*, 326, 129392. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129392>
 6. Abdel Wahed Ahmed, M. M., Abd El Monem, N. (2020). Sustainable and green transportation for better quality of life case study greater Cairo – Egypt. *HBRC Journal*, 16 (1), 17–37. doi: <https://doi.org/10.1080/16874048.2020.1719340>
 7. Giriunas, K., Sezen, H., Dupaux, R. B. (2012). Evaluation, modeling, and analysis of shipping container building structures. *Engineering Structures*, 43, 48–57. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.05.001>
 8. Rzezeczycki, 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>
 9. Ibragimov, N. N., Rahimov, R. V., Hadzhimuhamedova, M. A. (2015). Razrabotka konstruktivnykh konteynera dlya perevozki plodoovoschnoy produktsii. *Molodoy ucheniy*, 21 (101), 168–173. Available at: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:VT3ot930WMwJ:https://moluch.ru/archive/101/22929/&cd=1&hl=ru&ct=clnk&gl=ua>
 10. Fomin, O., Gerlici, J., Vatulia, G., Lovska, A., Kravchenko, K. (2021). Determination of the Loading of a Flat Rack Container during Operating Modes. *Applied Sciences*, 11 (16), 7623. doi: <https://doi.org/10.3390/app11167623>
 11. Placzek, M., Wróbel, A., Olesiejuk, M. (2017). Modelling and arrangement of composite panels in modernized freight cars. *MATEC Web of Conferences*, 112, 06022. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711206022>
 12. Chuan-jin, O., Bing-tao, L. (2020). Research and application of new multimodal transport equipment-swap bodies in China. *E3S Web of Conferences*, 145, 02001. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014502001>
 13. Wróbel, A., Placzek, M., Buchacz, A. (2017). An Endurance Test of Composite Panels. *Solid State Phenomena*, 260, 241–248. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.260.241>
 14. Fomin, O., Gorbunov, M., Gerlici, J., Vatulia, G., Lovska, A., Kravchenko, K. (2021). Research into the Strength of an Open Wagon with Double Sidewalls Filled with Aluminium Foam. *Materials*, 14 (12), 3420. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14123420>
 15. Al-Sukhon, A., ElSayed, M. S. (2021). Design optimization of hopper cars employing functionally graded honeycomb sandwich panels. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 236 (8), 920–935. doi: <https://doi.org/10.1177/09544097211049640>
 16. Bezuhov, N. I. (1957). *Sbornik zadach po teorii upru gosti i plastichnosti*. Moscow: Gosudartvennoe izdatel'stvo tekhniko-teoreticheskoy literatury, 286.
 17. Lovskaya, A., Ryibin, A. (2016). The study of dynamic load on a wagon–platform at a shunting collision. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (81)), 4–8. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.72054>
 18. Lovska, A. (2014). Assessment of dynamic efforts to bodies of wagons at transportation with railway ferries. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (4 (69)), 36–41. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.24997>
 19. Pievtsov, H., Turinskiy, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 78–89. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
 20. Nalapko, O., Shyshatskyi, A., Ostapchuk, V., Mahdi, Q. A., Zhyvotovskiy, R., Petruk, S. et al. (2021). Development of a method of adaptive control of military radio network parameters. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (109)), 18–32. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225331>
 21. Panchenko, S., Vatulia, G., Lovska, A., Ravlyuk, V., Elyazov, I., Huseynov, I. (2022). Influence of structural solutions of an improved brake cylinder of a freight car of railway transport on its load in operation. *EUREKA: Physics and Engineering*, 6, 45–55. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002638>
 22. Zadachyn, V. M., Koniushenko, I. H. (2014). *Chyselni metody*. Kharkiv, 180. Available at: http://kist.ntu.edu.ua/textPhD/CHM_Zadachin.pdf
 23. Hoi, T. P., Makhnei, O. V. (2012). *Dyferentsialni rivniannia*. Ivano-Frankivsk, 352. Available at: https://kdrpm.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/55/2018/03/deinf_el.pdf
 24. Stoilov, V., Simić, G., Purgić, S., Milković, D., Slavchev, S., Radulović, S., Maznichki, V. (2019). Comparative analysis of the results of theoretical and experimental studies of freight wagon Sdggmrss-twin. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 664 (1), 012026. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/664/1/012026>
 25. Lovska, A., Stanovska, I., Nerubatskyi, V., Hordiienko, D., Zinchenko, O., Karpenko, N., Semenenko, Y. (2022). Determining features of the stressed state of a passenger car frame with an energy-absorbing material in the girder beam. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (119)), 44–53. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265043>
 26. Panchenko, S., Gerlici, J., Vatulia, G., Lovska, A., Pavliuchenkov, M., Kravchenko, K. (2022). The Analysis of the Loading and the Strength of the FLAT RACK Removable Module with Viscoelastic Bonds in the Fittings. *Applied Sciences*, 13 (1), 79. doi: <https://doi.org/10.3390/app13010079>
 27. Fomin, O., Lovska, A. (2021). Determination of dynamic loading of bearing structures of freight wagons with actual dimensions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (110)), 6–14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.220534>
 28. Fang, Z., Han, M. (2014). Strength Analysis of the Railway Truck Body Based on ANSYS. *Applied Mechanics and Materials*, 615, 329–334. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.615.329>
 29. Buchacz, A., Baier, A., Placzek, M., Herbuś, K., Ociepka, P., Majzner, M. (2018). Development and analysis of a new technology of freight cars modernization. *Journal of Vibroengineering*, 20 (8), 2978–2997. doi: <https://doi.org/10.21595/jve.2018.19206>
 30. Rudenko, V. M. (2012). *Matematichna statistika*. Kyiv, 304. Available at: <https://westudents.com.ua/knigi/578-matematichna-statistika-rudenko-vm.html>

31. Kobzar', A. I. (2006). *Prikladnaya matematicheskaya statistika*. Moscow, 816. Available at: <https://www.at.alleng.org/d/math/math369.htm>
32. Melnychenko, O. P., Yakymenko, I. L., Shevchenko, R. L. (2006). *Statystychna obrobka eksperymentalnykh danykh*. Bila Tserkva, 35. Available at: https://teta.at.ua/Metodichka/mat_statustuka.pdf
33. Perekuda, O. V., Kapustian, O. A., Kurylko, O. B. (2022). *Statystychna obrobka danykh*. Kyiv, 103. Available at: http://www.mechmat.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2022/02/navch_pos_perekuda.pdf
34. Kosmin, V. V. (2007). *Osnovy nauchnyh issledovaniy*. Moscow, 271.
35. Siasiev, A. V. (2004). *Vstup do systemy MathCad*. Dnipropetrovsk, 108. Available at: https://library_donetsk19.donetsk.edu.com/uk/library/vstup-do-sistemi-mathcad-navchalnii-posibnik.html
36. Fomin, O., Lovska, A., Khara, M., Nikolaienko, I., Lytvynenko, A., Sova, S. (2022). Adapting the load-bearing structure of a gondola car for transporting high-temperature cargoes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (116)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253770>
37. 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.
38. EN 12663-2. Railway applications - structural requirements of railway vehicle bodies - Part 2: Freight wagons (2010).
39. Technical specification for steel dry cargo container 20'x8'x8'6" ISO 1CC type specification NO: "CTX 20 DVDR – Domestic Spec. HH" (2013). Available at: <https://www.containi.de/pdf/Technische-Beschreibung-Seecontainer.pdf>
40. Bohach, I. V., Krakovetskyi, O. Yu., Kylyk, L. V. (2020). *Chyselni metody rozviazannia dyferentsialnykh rivnian zasobamy MathCad*. Vinnytsia, 106. Available at: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/Bogach_2020_106.pdf
41. Sobolenko, O. V., Petrechuk, L. M., Ivashchenko, Yu. S., Yehortseva, Ye. Ye. (2020). *Metody rishennia matematychnykh zadach u sere dovyschi Mathcad*. Dnipro, 60. Available at: https://nmetau.edu.ua/file/navch_posibn_mathcad_2020_petrechuk.pdf

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.274180

DETERMINING PATTERNS IN THE INFLUENCE OF THE GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE CONNECTING PIPELINE ON THE DYNAMIC PARAMETERS OF THE PNEUMATIC SPRING OF RAILROAD ROLLING STOCK (p. 57–65)

Andrii Kuzyshyn

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3012-5395>

Vitalii Kovalchuk

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4350-1756>

Volodymyr Stankevych

Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3471-6608>

Volodymyr Hilevych

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8873-7522>

The object of this study is the process of determining the dynamic indicators of the pneumatic spring, which is used as the main element of the second stage of spring suspension in the high-speed rolling stock of the railroad, based on the influence of the geometric parameters of the connecting pipeline.

It has been established that the dynamic indicators of rolling stock mainly depend on the operation of the pneumatic spring, the characteristics of which are largely determined by the geometric parameters of the connecting element between the pneumatic spring and the additional tank.

A mathematical model of oscillations of a dual-mass system has been constructed, the elements of which are connected through a pneumatic spring suspension system. The operation of the pneumatic system is described using the Boyle–Mariotte equations, the state of the ideal gas, the energy for the flow in the connecting pipeline, and the law of conservation of energy.

Theoretical studies into the influence of the diameter and length of the connecting element of the pneumatic spring suspension system on energy loss and damping coefficient for the cycle of its operation and the rigidity of the pneumatic spring have been carried out.

It was established that the dependence of the stiffness of the pneumatic spring, while changing the value of the diameter of the connecting element from 6 mm to 30 mm, is nonlinear.

In the process of compression, the rigidity of the pneumatic spring changes with the length of the connecting element of 1 m from 927 kN/m, static rigidity, to 497 kN/m, dynamic rigidity.

The dependences of energy loss and damping coefficient for the operation cycle of the pneumatic spring suspension system based on the hysteresis loop have been constructed.

It was found that the difference between the damping coefficient in the process of compression and expansion of the pneumatic spring is no more than 4 %.

It was established that the design of high-speed rolling stock is impossible without high-quality modeling of the process of operation of the pneumatic spring suspension system.

Keywords: rolling stock of railroads, pneumatic spring, connecting pipeline, dynamic characteristics of pneumatic springs.

Reference

1. Proekt planu vidnovlennia Ukrainy. Materialy robochoi hrupy «Vidnovlennia ta rozbudova infrastruktury» (2022). Natsionalna rada z vidnovlennia Ukrainy vid naslidkiv viyny, 178. Available at: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/restoration-and-development-of-infrastructure.pdf>
2. Kuzyshyn, A., Batig, A., Kostritsa, S., Sobolevska, J., Kovalchuk, V., Dovhanyuk, S., Voznyak, O. (2018). Research of safety indicators of diesel train movement with two-stage spring suspension. *MATEC Web of Conferences*, 234, 05003. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823405003>
3. Kuzyshyn, A., Batig, A., Kostritsa, S., Sobolevska, J., Dovhaniuk, S., Dzhus, V. (2020). Study of the dynamic behavior of rolling stock using a computer experiment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 985 (1), 012002. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/985/1/012002>
4. Kovalchuk, V., Kuzyshyn, A., Kostritsya, S., Sobolevska, Y., Batig, A., Dovganyuk, S. (2018). Improving a methodology of theoretical determination of the frame and directing forces in modern diesel trains. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (96)), 19–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.149838>
5. Kuzyshyn, A., Kostritsa, S., Ursulyak, L., Batig, A., Sobolevska, J., Voznyak, O. (2019). Research of the impact of geometric unevenness of the railway track on the dynamic parameters of the railway rolling stock with two-stage spring suspension. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 664 (1), 012024. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/664/1/012024>
6. Moheyeldeen, M. M., Abd-El-Tawwab, A. M., Abd El-gwwad, K. A., Salem, M. M. M. (2018). An analytical study of the performance in-

- dices of air spring suspensions over the passive suspension. Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences, 7 (4), 525–534. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2018.06.004>
7. Alonso, A., Giménez, J. G., Nieto, J., Vinolas, J. (2010). Air suspension characterisation and effectiveness of a variable area orifice. Vehicle System Dynamics, 48, 271–286. doi: <https://doi.org/10.1080/00423111003731258>
 8. Matsumiya, S., Nishioka, K., Nishimura, S., Suzuki, M. (1969). On the diaphragm air spring sumride. The Sumitomo Search, 2, 86–92.
 9. Berg, M. (1999). A Three-Dimensional Airspring Model with Friction and Orifice Damping. Vehicle System Dynamics, 33, 528–539. doi: <https://doi.org/10.1080/00423114.1999.12063109>
 10. Sayyaadi, H., Shokouhi, N. (2010). Effects of air reservoir volume and connecting pipes' length and diameter on the air spring behavior in rail-vehicles. Iranian Journal of Science and Technology Transaction B: Engineering, 34 (B5), 499–508.
 11. Xu, L. (2020). Mathematical Modeling and Characteristic Analysis of the Vertical Stiffness for Railway Vehicle Air Spring System. Mathematical Problems in Engineering, 2020, 1–12. doi: <https://doi.org/10.1155/2020/2036563>
 12. Nieto, A. J., Morales, A. L., González, A., Chicharro, J. M., Pintado, P. (2008). An analytical model of pneumatic suspensions based on an experimental characterization. Journal of Sound and Vibration, 313 (1-2), 290–307. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2007.11.027>
 13. Sowayan, A. (2020). Stiffness of a Nonlinear Adiabatic Polytropic Air Spring Model: Quantitative and Conductive Investigation. International Review on Modelling and Simulations (IREMOS), 13 (3), 177. doi: <https://doi.org/10.15866/iremos.v13i3.18761>
 14. Zhu, H., Yang, J., Zhang, Y., Feng, X. (2017). A novel air spring dynamic model with pneumatic thermodynamics, effective friction and viscoelastic damping. Journal of Sound and Vibration, 408, 87–104. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2017.07.015>
 15. Chen, J.-J., Yin, Z.-H., Rakheja, S., He, J.-H., Guo, K.-H. (2017). Theoretical modelling and experimental analysis of the vertical stiffness of a convoluted air spring including the effect of the stiffness of the bellows. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 232 (4), 547–561. doi: <https://doi.org/10.1177/0954407017704589>
 16. Gao, H. X., Chi, M. R., Zhu, M. H., Wu, P. B. (2013). Study on Different Connection Types of Air Spring. Applied Mechanics and Materials, 423-426, 2026–2034. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.423-426.2026>
 17. Reidemeister, O. H., Kivisheva, A. V. (2016). Dependence of air spring parameters on throttle resistance. Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, 2 (62), 157–164. doi: <https://doi.org/10.15802/stp2016/67339>
 18. Reidemeister, O. H., Laguza, A. V. (2018). Determination of characteristics of throttling device for pneumatic spring. Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, 1 (73), 66–76. doi: <https://doi.org/10.15802/stp2018/123394>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.272317

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ РАДІАЦІЙНОГО РОЗПУХАННЯ НА ПОВЗУЧИТЬ ТА ПОШКОДЖУВАНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ З ОРТОТРОПНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ МАТЕРІАЛУ (с. 6–13)

Д. В. Бреславський, В. О. Метельов, О. А. Татарінова

Статтю присвячено викладенню методу чисельного моделювання деформування та накопичення прихованої пошкодженості у конструктивних елементах, що знаходяться у нерівномірному тепловому полі та піддані впливу радіаційного опромінювання. Розглядаються матеріали, що виявляють ортотропію (трансверсальну ізотропію) довготривалих властивостей. Задачу сформульовано як початково-крайову. Для розв'язання використовуються метод скінченних елементів, початково-різницевий метод інтегрування за часом. Для моделювання анізотропії процесу накопичення прихованої пошкодженості використано тензор пошкодженості. Опис розвитку деформацій радіаційного розпухання проведено з використанням рівняння для обмеженого температурного інтервалу та конкретного значення флюенсу. Розглянуто результати чисельного моделювання повзучості та пошкодженості у розтягнутих пластинках з коловими надрізами, які знаходяться у нерівномірному температурному полі. Матеріал пластин – титановий сплав ВТ1-0. Встановлено, що вплив радіаційного опромінювання істотно, до 6–7 %, збільшує рівень деформацій у пластині. Радіаційне опромінювання істотно, практично в 4 рази, скорочує час до завершення прихованого руйнування пластин. Виявлено, що ортотропія властивостей радіаційного розпухання призводить до прерозподілу областей з істотними деформаціями та набутими пошкодженнями. Встановлено, що вплив радіаційного розпухання також якісно змінює характер розподілення максимальної пошкодженості в пластині, яка розповсюджується на досить велику область. Такі результати обумовлено додатковим впливом деформацій радіаційного розпухання на швидкість загальної незворотної деформації та перерозподіл напружень.

Ключові слова: повзучість, радіаційне розпухання, моделювання, ортотропний матеріал, тензор пошкодженості, титановий сплав.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.273974

ВИЗНАЧЕННЯ ВТОМИ КОМПОЗИТНОЇ СТРУКТУРИ KENAF/PLA ЗА ДОПОМОГОЮ ВТОМНОГО ЗРАЗКА (ASTM D7791): ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ АНАЛІЗ (с. 14–20)

Muthanna A. N. Abbu, Duaa Talib Hashim, Hasan M. A. Albegmprli, Mustafa Ridha Mezaal

У цьому дослідженні зразок композиту kenaf/PLA піддавався втомному навантаженню, а результати аналізувалися чисельно. Деякі з найбільш важливих аспектів інструменту для вимірювання втоми, які розглядалися, були очікувана тривалість життя, пошкодження, альтернативне навантаження та індикація двовісності. Статичний структурний інструмент використовувався для прогнозування числового аналізу, а розрахунки проводилися за теорією втоми Гудмана. Навантаження повністю змінили так, щоб воно дорівнювало 30 кН, коли було виявлено, що система може продовжувати функціонувати навіть після завершення циклів $1e6$. Після застосування альтернативного навантаження 30 кН показник двовісності був встановлений як 0,425, з мінімальним значенням 0,9. Встановлено розмір завданних збитків. Мінімальна кількість циклів, необхідних для досягнення максимального потенціалу шкоди, становить 1000, а максимальна кількість циклів, необхідних для досягнення максимального потенціалу шкоди, становить $1,7662 \cdot 10^6$. Встановлено, що існує інший стрес, який можна порівняти з цим. На підставі результатів дослідження було встановлено, що галтельні ділянки зразка піддавалися максимальній альтернативній нарузі 716,4 МПа. Альтернативне напруження не може опускатися нижче 31,276 МПа ні за яких обставин. Підрахунком встановлено, що загалом на життя було витрачено 10^6 циклів. Було виявлено, що не буде жодних пошкоджень незалежно від кількості циклів, які проходять через те, що це число дорівнює 1. Було встановлено, що альтернативне напруження може досягати максимального значення 716,4 МПа, таке що було значенням, яке використовувалося для альтернативного порівняння.

Ключові слова: статичні конструкції, FEM, аналіз втоми, kenaf/PLA композит, ASTM D7791.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.274300

ПОБУДОВА ОДНОРІДНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ТЕОРІЇ ПРУЖНОСТІ ДЛЯ НЕОДНОРІДНОГО УСІЧЕНОГО ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ІЗОТРОПНОГО КОНУСА (с. 21–31)

Natiq Akhmedov

За допомогою методу асимптотичного інтегрування вивчається вісесиметрична задача теорії пружності для неоднорідного трансверсально-ізотропного зрізаного конуса малої товщини. Вважається, що модулями пружності є безперервні довільні функції від кута розчину конуса. Передбачається, що бічна частина конуса вільна від напруги, а на торцях конуса задані довільні граничні умови, що залишають її в рівновазі. Побудовано однорідні розв'язки, тобто всякі розв'язки рівнянь рівноваги, що задовольняють умову відсутності напруги на бічних поверхнях конуса. Отримано три групи рішень: проникаюче рішення, рішення типу простого крайового ефекту та рішення прикордонного шару. Проведено аналіз напружено-деформованого стану. Показано, що проникаюче рішення та рішення, що мають характер крайового ефекту, визначають внутрішній напружено-деформований стан конуса. Рішення, що мають характер прикордонного шару, локалізовані у торців конуса та його перші члени еквівалентні крайовому ефекту Сен-Венана неоднорідної плити.

Вивчено окремих вид неоднорідного трансверсально-ізотропного конуса малої товщини при виродженні її серединної поверхні в площину. Показано, що цей випадок виродження особливий і рішення складаються з проникаючого рішення та характеру прикордонного шару.

Отримано асимптотичні формули, що дозволяють розрахувати напружено-деформований стан неоднорідного трансверсально-ізотропного конуса малої товщини. На основі отриманих рішень можна побудувати нову уточнену прикладну теорію та визначити області застосування існуючих прикладних теорій для кінцевих оболонок. Визначено нові класи рішень, які не може описати жодна прикладна теорія.

Ключові слова: неоднорідний трансверсально-ізотропний конус, однорідні рішення, кут розчину, середина поверхня, прикордонний шар.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.274573

ВИЯВЛЕННЯ ДЕЯКИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВТОМНОЇ ПОВЕДІНКИ КОМПОЗИТНОЇ СТРУКТУРИ СТОПИ ПРОТЕЗА З ВУГЛЕВОГО ВОЛОКНА З НАНОЧАСТИНКАМИ Al_2O_3 (с. 32–39)

Ali Talib Shomran, Batool Mardan Faisal, Emad Kamil Hussein, Thiago Santos, Kies Fatima

У цьому дослідженні вуглецеве волокно з наночастинками Al_2O_3 композитної структури стопи протеза було досліджено та чисельно проаналізовано пояснення втомної поведінки протеза. Наночастинки з Al_2O_3 були відповідним чином включені в процес виробництва композитної структури протеза стопи. Прогноз життя, індикатор пошкодження та індексація *Viaxiliray* були трьома основними міркуваннями, які враховувалися в процесі вивчення композитної конструкції стопи протеза. Прогноз життя був найважливішим фактором. Експерименти з явищем втоми були проведені з повністю зміненим стресом як змінною, щоб переконатися, що результати відповідають теорії, запропонованій Гудменом. Щоб розробити оцінку цих характеристик, було використано прикладне динамічне навантаження, яке становило 1000 Н. Було використано динамічне навантаження, яке було застосовано, щоб отримати оцінку цих характеристик, щоб ми могли краще їх зрозуміти. Результати обчислювального дослідження показали, що прогноз життя можна збільшити до 10^6 циклів, застосувавши первинну силу 1000 Н. Це показали результати дослідження. Це було продемонстровано висновками. Під час того ж застосування навантаження індексація *Viaxiliray* досягла значення 0,99. На додаток до дослідження індикатора пошкодження, чисельні дані показали, що пошкодження можна побачити після застосування перших 1000 циклів навантаження. Це було продемонстровано як дослідженням індикатора пошкодження, так і цифровими результатами.

Ключові слова: втомна поведінка, динамічне навантаження, протез стопи, чисельний аналіз, прогноз життя.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.270988

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ТА ТЯГОВО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПОВНОПРИВІДНОЇ ТЯГОВО-ТРАНСПОРТНОЇ МАШИНИ (с. 40–47)

Р. В. Антощенко, С. А. Богданович, І. В. Галич, Г. І. Череватенко

Наведено результати дослідження динамічних та тягово-енергетичних показників повнопривідної колісної тягово-транспортної машини. Складено схему динамічної моделі трансмісії повнопривідної колісної тягово-транспортної машини та систему рівнянь динаміки трансмісії у формі Коші. Це дозволило визначити залежності кутових швидкостей обертання елементів трансмісії тягово-транспортної машини, залежності крутних моментів та залежності дотичних сил тяги на колесах від часу. Метод дозволяє визначати оптимальні параметри трансмісії, конструкції диференціалів та передавальні числа для підвищення тягово-зчипних та паливо-економічних показників машини. Встановлено, що кутові швидкості обертання передніх коліс тягово-транспортної машини 1,29 рад/с, 1,27 рад/с вище за кутові швидкості обертання задніх коліс 1,24 рад/с, 1,25 рад/с, що призводить до появи кінематичної невідповідності та додаткових втрат енергії. Визначені крутні моменти передніх ведучих коліс, що складають 6972 Н·м, задніх ведучих коліс 4622 Н·м. Дотичні сили тяги на передніх колесах машини складають 5478 Н після закінчення розгону машини, на задніх колесах – 3473 Н. Експериментальні дослідження виконані на прикладі повнопривідного колісного трактору з шарнірно-з'єднаною рамою для валідації методу оцінки динаміки трансмісії тягово-транспортної машини. Розбіжність між значеннями кутових швидкостей обертання коліс та дотичних сил тяги на колесах, що визначені теоретично та отримано під час експериментальних досліджень, складає 2%. Розроблений метод оцінки динаміки трансмісії повнопривідної тягово-транспортної машини необхідно вважати валідним. Запропонований у роботі метод можна застосовувати для оцінки динаміки колісних автотранспортних засобів.

Ключові слова: кутова швидкість обертання, крутний момент, дотична сила тяги, повнопривідна колісна тягово-транспортна машина.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.272316

ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЙНИХ СКЛАДОВИХ ІЗ СЕНДВІЧ-ПАНЕЛЕЙ НА НАВАНТАЖЕНІСТЬ КОНТЕЙНЕРА ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ (с. 48–56)

Г. Л. Ватуля, А. О. Ловська, С. С. Мямлін, І. І. Становська, М. О. Голофєєва, В. Л. Горобець, В. П. Нерубацький, Є. С. Краснокутський

Об'єктом дослідження є процеси виникнення, сприйняття та перерозподілу навантажень в несучій конструкції контейнера типу розміру 1СС з торцевими стінами із сендвіч-панелей.

Для зменшення повздовжньої навантаженості контейнера при експлуатаційних режимах запропоновано впровадження в його конструкцію сендвіч-панелей. Таке рішення реалізоване на прикладі його торцевих стін, як найбільш навантаженої складової кузова в експлуатації.

Визначено товщину листа сендвіч-панелі за умови забезпечення міцності в експлуатації. Проведено математичне моделювання динамічної навантаженості контейнера з торцевими стінами із сендвіч-панелей, розміщеного на вагоні-платформі при маневровому співударянні. Встановлено, що з урахуванням запропонованого удосконалення стає можливим знизити динамічні навантаження, які сприймає контейнер на 10 % у порівнянні з типовою конструкцією. Отримані результати підтверджено комп'ютерним моделюванням динамічної навантаженості контейнера. Сформовані в рамках дослідження моделі верифіковано за F-критерієм.

Результати розрахунків на міцність контейнера показали, що напруження в його конструкції на 15 % нижчі ніж у типовій.

Особливістю отриманих результатів є те, що запропоноване удосконалення контейнера сприяє покращенню його міцності в експлуатації шляхом зменшення навантажень, що діють на нього.

Сферою практичного використання результатів є машинобудівна галузь, а саме, залізничний транспорт. При цьому, умовами практичного застосування результатів дослідження є впровадження у якості складової сендвіч-панелі енергопоглинального матеріалу.

Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо проектування сучасних конструкцій транспортних засобів модульного типу та підвищенню ефективності функціонування транспортної галузі.

Ключові слова: контейнер ISO, сендвіч-панель, динамічна навантаженість контейнера, міцність контейнера, контейнерні перевезення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.274180

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ З'ЄДНУВАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДУ НА ДИНАМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПНЕВМАТИЧНОЇ РЕСОРИ ЗАЛІЗНИЧНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ (с. 57–65)

А. Я. Кузишин, В. В. Ковальчук, В. З. Станкевич, В. В. Гілевич

Об'єктом дослідження є процес визначення динамічних показників пневматичної ресори, що використовується як головний елемент другої ступені ресорного підвищення у швидкісному рухомому складі залізниці, на основі впливу геометричних параметрів з'єднувального трубопроводу.

Встановлено, що динамічні показники рухомого складу головним чином залежать від роботи пневматичної ресори, характеристики якої в значній мірі визначаються геометричними параметрами з'єднувального елемента між пневматичною ресорою та додатковим резервуаром.

Розроблено математичну модель коливань двомасової системи, елементи якої з'єднуються через пневматичну систему ресорного підвищення. Робота пневматичної системи описана за допомогою рівнянь Бойля-Маріотта, стану ідеального газу, енергії для потоку в з'єднувальному трубопроводі та закону збереження енергії.

Проведено теоретичні дослідження впливу діаметра та довжини з'єднувального елемента системи пневматичного ресорного підвищення на втрату енергії та коефіцієнт демпфування за цикл її роботи та жорсткість пневматичної ресори.

Встановлено, що залежність жорсткості пневматичної ресори, змінюючи значення діаметру з'єднувального елемента від 6 мм до 30 мм, має нелінійний характер.

У процесі стиснення жорсткість пневматичної ресори змінюється при довжині з'єднувального елемента 1 м від 927 кН/м – статична жорсткість до 497 кН/м – динамічна жорсткість.

Побудовано залежності втрати енергії та коефіцієнта демпфування за цикл роботи пневматичної системи ресорного підвищення на основі петлі гістерезису.

Встановлено, що різниця між коефіцієнтом демпфування у процесі стиснення та розширення пневматичної ресори складає не більше 4 %.

Встановлено, що проектування швидкісного рухомого складу є неможливим без якісного моделювання процесу роботи пневматичної системи ресорного підвищення.

Ключові слова: рухомий склад залізниці, пневматична ресора, з'єднувальний трубопровід, динамічні характеристики пневморесори.