

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.351704

**DEVELOPMENT OF A LIGHTWEIGHT ABDUCTION SPLINT FOR PEDIATRIC DDH PATIENTS THROUGH TOPOLOGICAL OPTIMIZATION (p. 6–21)****Alex Condori Lopez**Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Peru  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1576-3092>**Eber Mejia Tola**Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Peru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9701-0472>**Yuri Silva Vidal**Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Peru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0461-470X>**Erick Valdeiglesias Flores**Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Peru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4167-9454>**Daniela Ponte Lopez**Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Peru  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7888-3585>**Trunks Vasquez Llave**Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Peru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7741-9043>

The object of the study is the structural geometry of an abduction splint for pediatric patients with developmental dysplasia. The problem to be solved is the existing commercial orthotic devices exhibit excessive weight and inadequate contact pressure distribution, leading to soft tissue damage, skin irritation, and poor therapeutic compliance in pediatric patients. Main scientific results – topological optimization based on the solid isotropic material with penalization method was applied to redesign the splint geometry. Three medical-grade polymers (ABS medical, PETG medical, and PP) were comparatively evaluated through static finite element analysis (FEA). ABS Medical was selected as the optimal material due to its initial safety factor of 14.95. The iterative optimization process, spanning 81 cycles, achieved a mass reduction of 18.96% (from 395.34 g to 320.38 g) while maintaining a safety factor of 13.69, significantly exceeding the Pugsley-derived minimum of 2.52 established for pediatric medical devices. Peak contact pressure reached 0.962 kPa, well below the critical 5.2 kPa capillary occlusion threshold. Interpretation – weight reduction results from the redistribution of material along principal stress vectors identified through finite element analysis. Distinctive features – the approach achieves nearly double the mass reduction of comparable studies (18.96% vs. 9.58%). Practical value – these results provide a validated framework for manufacturing lightweight and safer orthopedic devices via fused deposition modeling (FDM) additive manufacturing, minimizing dermatological complications.

**Keywords:** dysplasia, abduction splint, optimization, finite element analysis, additive manufacturing, pediatric.

**References**

- Ionescu, A., Dragomirescu, M.-C., Herdea, A., Ulici, A. (2023). Developmental Dysplasia of the Hip: How Many Risk Factors Are Needed? *Children*, 10 (6), 968. <https://doi.org/10.3390/children10060968>
- Burden of Disease. Global Hip Dysplasia Registry. Available at: <https://www.hipregistry.com/burden-of-disease>
- Tao, Z., Wang, J., Li, Y., Zhou, Y., Yan, X., Yang, J. et al. (2023). Prevalence of developmental dysplasia of the hip (DDH) in infants: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Paediatrics Open*, 7 (1), e002080. <https://doi.org/10.1136/bmjpo-2023-002080>
- Kraus, T., Chiari, C. (2024). Universal screening for developmental dysplasia of the hip in Austria: what have we learned? *Exploration of Musculoskeletal Diseases*, 2 (3), 208–215. <https://doi.org/10.37349/emd.2024.00049>
- Talal Ahmad Amer, M.D., A. R. M. M. D., Elaziz Elsaaid, M.D., M. A. (2021). Role of Ultrasound in Screening of Infantile Developmental Hip Dysplasia. *The Medical Journal of Cairo University*, 89 (3), 329–336. <https://doi.org/10.21608/mjcu.2021.153946>
- Hip dysplasia. Mayo Clinic. Available at: <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/hip-dysplasia/symptoms-causes/syc-20350209>
- Guías de Salud. Available at: <https://www.lne.es/salud/guia/>
- Jacobsen, K. K., Laborie, L. B., Kristiansen, H., Schäfer, A., Gundersen, T., Zayats, T., Rosendahl, K. (2024). Genetics of hip dysplasia – a systematic literature review. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 25 (1). <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07795-2>
- Pavone, V., de Cristo, C., Vescio, A., Lucenti, L., Sapienza, M., Sessa, G. et al. (2021). Dynamic and Static Splinting for Treatment of Developmental Dysplasia of the Hip: A Systematic Review. *Children*, 8 (2), 104. <https://doi.org/10.3390/children8020104>
- Drobniewski, M., Gonera, B., Olewnik, Ł., Borowski, A., Ruzik, K., Triantafyllou, G., Borowski, A. (2024). Challenges and Long-Term Outcomes of Cementless Total Hip Arthroplasty in Patients Under 30: A 24-Year Follow-Up Study with a Minimum 8-Year Follow-Up, Focused on Developmental Dysplasia of the Hip. *Journal of Clinical Medicine*, 13 (21), 6591. <https://doi.org/10.3390/jcm13216591>
- O'Brien, M. J., Semciw, A. I., Mechlenburg, I., Tønning, L. C., Stewart, C. J., Kemp, J. L. (2023). Pain, function and quality of life are impaired in adults undergoing periacetabular osteotomy (PAO) for hip dysplasia: a systematic review and meta-analysis. *HIP International*, 34 (1), 96–114. <https://doi.org/10.1177/11207000231179610>
- Gahleitner, M., Pisecky, L., Gotterbarm, T., Högl, W., Luger, M., Klotz, M. C. (2023). Long-term Results of Developmental Hip Dysplasia Under Therapy With Pavlik Harness. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 44 (3), 135–140. <https://doi.org/10.1097/bpo.0000000000002575>
- Rastogi, P., Anant, S., Agarwal, S., Singh Oberoi, I., Tiwari, P. (2025). A Systematic Review on Neonatal Screening and Orthopaedic Management of Developmental Dysplasia of The Hip Through a Synthesis of Diagnostic Yield and Pavlik Harness Outcomes. *Journal of Neonatal Surgery*, 14 (8S), 968–979. Available at: <https://www.jneonatalurg.com/index.php/jns/article/view/5223>
- Imerci, A., Thacker, M. M., Bowen, J. R. (2024). Failure of Pavlik Harness Treatment in Infants Under 6 Months Old with Dislocated Hips: Short- and Intermediate-Term Results of Subsequent Treatment Modalities. *Indian Journal of Orthopaedics*, 58 (9), 1288–1296. <https://doi.org/10.1007/s43465-024-01162-y>
- Rakotonandrianina, M. N. H., MG., A. T. R., Tata, T. J. F., Solofomalala, G. D. (2023). Orthosis Treatment for Patients with Congenital Hip Dislocation. *Surabaya Physical Medicine and Rehabilitation Journal*, 5 (1), 17–24. <https://doi.org/10.20473/spmrv.v5i1.36926>
- Zhi, X., Xiao, X., Wan, Y., Wei, P., Canavese, F., Xu, H. (2021). Tübingen hip flexion splint for the treatment of developmental dysplasia of the hip in children younger than six months age: A meta-analysis. *Journal of Children's Orthopaedics*, 15 (4), 402–408. <https://doi.org/10.1302/1863-2548.15.210015>

17. Wahlen, R., Zambelli, P.-Y. (2015). Treatment of the Developmental Dysplasia of the Hip with an Abduction Brace in Children up to 6 Months Old. *Advances in Orthopedics*, 2015, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2015/103580>
18. Dyskin, E., Ferrick, M. (2015). Semirigid Abduction Bracing is Effective Treatment of Reducible Developmental Dysplastic Hips after Failure of Pavlik Harness. *Ann. Orthop. Rheumatol.*, 3 (2), 1045. Available at: <https://www.jscimedcentral.com/journal-article-pdf/Annals-of-Orthopedics-and-Rheumatology/orthopedics-3-1045.pdf>
19. Hoopes, R. R. (2020). A Retrospective Study to Identify Factors Contributing to Pressure Ulcers in Pediatric Patients with Lower Extremity Splints. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 30 (3). <https://doi.org/10.26717/bjstr.2020.30.004957>
20. Grzybowski, G., Bliven, E., Wu, L., Schaeffer, E. K., Gibbard, M., Zomar, B. O. et al. (2022). Caregiver Experiences Using Orthotic Treatment Options for Developmental Dysplasia of the Hip in Children. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 43 (2), 105–110. <https://doi.org/10.1097/bpo.0000000000002312>
21. Sala, F., D'Urso, G. D., Giardini, C. (2024). Evaluation of the Integration of Topological Optimisation in the Process Chain for Manufacturing Customised Orthopaedic Devices via Additive Manufacturing. *Prosthesis*, 6 (6), 1510–1528. <https://doi.org/10.3390/prosthesis6060109>
22. Voulgaris, S., Kousiatza, C., Kazakis, G., Ypsilantis, K.-I., Galanis, D., Mitropoulou, C. Ch. et al. (2025). Upper Limb Orthoses: Integrating Topology Optimization and 3D Printing for Custom Fit and Function. *Applied Sciences*, 15 (2), 827. <https://doi.org/10.3390/app15020827>
23. Salazar Loo, R. B., Martínez-Gómez, J., Sarmiento Anchundia, J. (2025). Material Selection for the Development of Orthoses Using Multicriteria Methods (MCDMs) and Simulation. *Processes*, 13 (6), 1796. <https://doi.org/10.3390/pr13061796>
24. Kyriakidis, I. F., Kladovasilakis, N., Gavriilopoulos, M., Tzetzis, D., Pechlivani, E. M., Tsongas, K. (2025). Topologically Optimized Anthropomorphic Prosthetic Limb: Finite Element Analysis and Mechanical Evaluation Using Plantogram-Derived Foot Pressure Data. *Biomimetics*, 10 (5), 261. <https://doi.org/10.3390/biomimetics10050261>
25. Raimann, R., Aguirre, D. (2021). Displasia del desarrollo de la cadera: tamizaje y manejo en el lactante. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 32 (3), 263–270. <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2021.04.003>
26. Legorreta Cuevas, J. G. (2013). Mediciones básicas en displasia del desarrollo de la cadera. *Rev. Mex. Ortop. Pediatr.*, 15 (1), 53–56. Available at: <https://www.medigraphic.com/pdfs/opediatria/op-2013/op131j.pdf>
27. Estimacion del peso ideal en sujetos amputados (Plamp). *FRESENIUS KABL*. Available at: [https://www.nutricionemocional.es/sites/default/files/estimacion\\_peso\\_ideal\\_sujetos\\_amputados\\_1.pdf](https://www.nutricionemocional.es/sites/default/files/estimacion_peso_ideal_sujetos_amputados_1.pdf)
28. ABS Medical (Technical datasheet v2.1). Weerg. Available at: [https://www.weerg.com/hubfs/Datasheets/Datasheets%202024/ENG/EN\\_ABSMedical.pdf](https://www.weerg.com/hubfs/Datasheets/Datasheets%202024/ENG/EN_ABSMedical.pdf)
29. Zou, R., Xia, Y., Liu, S., Hu, P., Hou, W., Hu, Q., Shan, C. (2016). Isotropic and anisotropic elasticity and yielding of 3D printed material. *Composites Part B: Engineering*, 99, 506–513. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.06.009>
30. Ciganas, J., Janušas, G. (2023). Investigation of Dynamic Mechanical Properties of PETG Thermoplastic. In *Proc. 27th Int. Sci. Conf. MECHANICS*, Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania. Available at: <https://mechanic.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/296/2023/05/P.5.pdf>
31. PETG. Technical Data Sheet 05.24. *AZUREFILM*. Available at: <https://3d.nice-cdn.com/upload/file/TDS-PETG.pdf>
32. PETG (Technical Data). PETG. PT Polimer Tecnic. Available at: <https://www.polimertecnic.com/wp-content/uploads/2022/05/1H9L9sb0yOuoFQIHCREpQda92QUpMetsC.pdf>
33. Technical data sheet: P-filament. PP Print. Available at: <https://www.ppprint.de/wp-content/uploads/2019/03/PPprint-data-sheet-eng-21.02.2019.pdf>
34. Yun, J.-H., Jeon, Y.-J., Kang, M.-S. (2022). Analysis of Elastic Properties of Polypropylene Composite Materials with Ultra-High Molecular Weight Polyethylene Spherical Reinforcement. *Materials*, 15 (16), 5602. <https://doi.org/10.3390/ma15165602>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.364307

**ASSESSING THE FRACTURE HAZARD OF RAILROAD ROLLING STOCK WHEEL FLANGE BASED ON BENDING STRESSES AND CONTACT FATIGUE (p. 22–32)**

**Svitlana Sapronova**

National Transport University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1482-1665>

**Oleksandr Vorobiov**

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6546-4434>

**Andriy Klymash**

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4055-1195>

This study investigates the stressed-strained state of a wheel flange in railroad rolling stock under the action of lateral forces of the wheel-rail interaction and the evolution of contact-fatigue damage. The task addressed relates to the lack of a comprehensive assessment of the risk of wheel flange failure, which would simultaneously take into account bending stresses, contact fatigue, and changes in the thickness of the flange due to operational wear.

The wheel flange is proposed as a bending element loaded by the lateral force of the wheel-rail interaction. An analytical dependence has been derived for determining bending stresses depending on the thickness of the flange and the magnitude of the lateral force. A hazard index is proposed, constructed by normalizing equivalent contact stresses relative to the contact endurance limit of the wheel material. Based on the combination of the contact index and the fatigue safety factor, a combined criterion for assessing the risk of flange failure has been devised.

A feature of the results is the established analytical dependence between the thickness of the flange and the fatigue stresses of bending. It was found that reducing the thickness of the flange from 30 to 22 mm leads to an increase in fatigue stresses by almost 1.9 times. A map of the risk of fracture in the coordinates “flange thickness-lateral force” was constructed, which makes it possible to determine the areas of safe and dangerous operation.

The scope of practical implementation of the results is railroad transport.

A condition for applying the findings is to assess the technical condition and predict the resource of rolling stock wheel flanges under the action of lateral loads in the flange contact.

This study could contribute to increasing the efficiency of the maintenance system of wheelsets for railroad transportation.

**Keywords:** railroad transport, bending stresses, contact fatigue, lateral force, flange thickness.

**References**

1. Ekberg, A., Vernersson, T., Hjertén, D. (2026). Railway wheel failure caused by flange crack, part 2: Fatigue and fracture assessment.

- Engineering Failure Analysis, 193, 110880. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2026.110880>
2. Sieberg, P. M., Hanke, S. (2023). Challenges and potentials in the classification of wear mechanisms by artificial intelligence. *Wear*, 522, 204725. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2023.204725>
  3. Akama, M. (2025). Rolling Contact Fatigue and Wear of Rails and Wheels: A Comprehensive Review. *Machines*, 13 (10), 970. <https://doi.org/10.3390/machines13100970>
  4. Vollebregt, E., Six, K., Polach, O. (2021). Challenges and progress in the understanding and modelling of the wheel-rail creep forces. *Vehicle System Dynamics*, 59(7), 1026–1068. <https://doi.org/10.1080/00423114.2021.1912367>
  5. Namayanja, Z., Nkundineza, C., Zewdie, B. M. (2024). Analyzing the impact of curved tracks on wheel flange thickness reduction in railway systems. *Open Engineering*, 14 (1). <https://doi.org/10.1515/eng-2024-0089>
  6. Zub, E., Tkachenko, V., Saponova, S., Syvakivskiy, S. (2024). Determining the influence of wheelset arrangement in the model 18-100 bogies on the level of steering efforts in the wheel-rail flange contacts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (129)), 38–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304328>
  7. Zhang, J., Zhou, S., Sun, L., Kou, J. (2026). Optimization of wheel profile for flange wear of rail vehicles on worn rails. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 40 (2), 1259–1268. <https://doi.org/10.1007/s12206-026-0141-0>
  8. Kwak, J., Lee, S. (2025). Parametric optimisation of tramway wheel profiles using surrogate modelling and multibody simulation. *Vehicle System Dynamics*, 1–32. <https://doi.org/10.1080/00423114.2025.2558915>
  9. Ye, Y., Vuitton, J., Sun, Y., Hecht, M. (2021). Railway wheel profile fine-tuning system for profile recommendation. *Railway Engineering Science*, 29 (1), 74–93. <https://doi.org/10.1007/s40534-021-00234-1>
  10. Muhamedsalih, Y., Tucker, G., Stow, J. (2022). Optimisation of wheelset maintenance by using a reduced flange wear wheel profile. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 237 (2), 253–265. <https://doi.org/10.1177/09544097221105959>
  11. Maglio, M., Vernersson, T., Nielsen, J. C. O., Pieringer, A., Söderström, P., Regazzi, D., Cervello, S. (2021). Railway wheel tread damage and axle bending stress – Instrumented wheelset measurements and numerical simulations. *International Journal of Rail Transportation*, 10 (3), 275–297. <https://doi.org/10.1080/23248378.2021.1932621>
  12. Kumar, N., Ahmadian, M., Marquis, B. (2026). Wheel-rail-induced derailment analysis: a comprehensive literature review of experimental and simulation-based approaches. *Railway Engineering Science*. <https://doi.org/10.1007/s40534-025-00425-0>
  13. Srivastava, J. P., Sarkar, P. K., Ranjan, V. (2016). Effects of thermal load on wheel-rail contacts: A review. *Journal of Thermal Stresses*, 39 (11), 1389–1418. <https://doi.org/10.1080/01495739.2016.1216060>
  14. Su, J., Huang, X., Ding, H., Meli, E., Wang, W., Zhang, S. (2026). On the transition behavior between rolling contact fatigue and thermal fatigue of freight wheels under various contact parameters/modes during tread braking process. *International Journal of Fatigue*, 209, 109650. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2026.109650>
  15. Turabimana, P., Nkundineza, C. (2020). Development of an On-Board Measurement System for Railway Vehicle Wheel Flange Wear. *Sensors*, 20 (1), 303. <https://doi.org/10.3390/s20010303>
  16. Hao, C., Chen, J., Sun, X., Xu, F., Xu, J., Wang, P. (2022). Effects of flange wear on dynamic vehicle-turnout interaction. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 237 (5), 642–654. <https://doi.org/10.1177/09544097221127783>
  17. Jelila, Y. D., Lemu, H. G., Pamula, W., Sirata, G. G. (2021). Fatigue life analysis of wheel-rail contacts at railway turnouts using finite element modelling approach. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1201 (1), 12047. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1201/1/012047>
  18. dos Santos, G. F. M., Lopes, L. A. S., Kina, E. J., Tunna, J. (2010). The Influence of Wheel Profile on the Safety Index. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 224 (5), 429–434. <https://doi.org/10.1243/09544097jrrt360>
  19. Young, W. C., Budynas, R. G. (2020). *Roark's formulas for stress and strain*. McGraw-Hill Education. Available at: <http://nguyen.hong.hai.free.fr/EBOOKS/SCIENCE%20AND%20ENGINEERING/MECANIQUE/THEORIE%20DE%20BASE/Roark's%20Formulas%20For%20Stress%20And%20Strain.pdf>
  20. Johnson, K. L. (1985). *Contact Mechanics*. Cambridge University Press.
  21. Pysarenko, H. S., Kvitka, O. L., Umanskyi, E. S. (2004). *Opir materialiv*. Kyiv: Vyshcha shk., 655. Available at: <https://btpm.nmu.org.ua/ua/download/Писаренко%20Г.С.%20Опір%20матеріалів.pdf>

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.360214

**DETERMINING THE LOADING ON THE BODY OF A COVERED WAGON MODERNIZED FOR CONTAINER TRANSPORTATION (p. 33–39)**

**Sergii Panchenko**

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7626-9933>

**Alyona Lovska**

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

**Arsen Muradian**

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

**Yevhen Pelypenko**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8988-791X>

**Valentyna Romakh**

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

This study investigates the process of loading the body of a covered hopper railroad car, modernized for container transportation. The task addressed is to improve the efficiency of container transportation by rail. To this end, it is proposed to use covered wagons taking into account the modernization of their structure. The modernization involves dismantling the roof and placing fitting stops on the floor for fastening containers.

The study was conducted using a universal covered wagon, model 11-217, as an example. The strength of the covered wagon body was calculated when it is subjected to vertical loads from containers, as well as the simultaneous action of vertical and longitudinal loads. It was established that when the body of the covered wagon is subjected to vertical loads, the maximum stresses in its structure are 8.3% lower than the permissible ones. When vertical and longitudinal loads are simultaneously applied, the maximum stresses in the body are 4% lower than the permissible ones. The calculation results prove that the strength of the covered wagon body, taking into account the proposed modernization, is maintained.

A feature of the proposed modernization is the fact that, if necessary, the design of the covered wagon body can be returned to its original state.

The scope of practical application of the results is railroad transport.

A condition for using the findings is the symmetrical placement of the fitting stops relative to the transverse axis of the covered wagon body, which is due to the need to ensure uniform loading of both car bogies.

This study will contribute to increasing the efficiency of container transportation by rail and container transportation in general.

**Keywords:** railroad transport, covered wagon, modernization of car body structure, body strength, container transportation.

## References

- Panchenko, S., Lovska, A., Muradian, A., Pelypenko, Y., Rukavishnykov, P., Demydiukov, O. (2024). Identifying possible ways for adapting an open wagon for transporting containers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (131)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.311324>
- Berescu, C., Fratila, C., Axinte, T., Diaconu, M., Cojocar, R. (2020). The mechanism's study of fixing a container on a freight wagon type Rgs. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 916 (1), 12010. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/916/1/012010>
- Chandra Prakash Shukla, Bharti, P. K. (2015). Study and Analysis of Doors of BCNHL Wagons. *International Journal of Engineering Research And*, 4 (04). <https://doi.org/10.17577/ijertv4is041031>
- 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. <https://doi.org/10.1177/0954409716646140>
- 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. <https://doi.org/10.1177/0954409715593971>
- 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*, 2 (62), 148–156. <https://doi.org/10.15802/stp2016/67334>
- Fomin, O., Lovska, A., Klymash, A., Keremet, M. (2021). Improvement of covered wagons of the “East-West” type by sectioning with a partition. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (113)), 36–43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239751>
- Shaposhnyk, V., Shykunov, O., Reidemeister, A., Muradian, L., Potapenko, O. (2021). Determining the possibility of using removable equipment for transporting 20- and 40-foot-long containers on an universal platform wagon. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (109)), 14–21. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225090>
- Blatnický, M., Dižo, J., Timoščuk, M. (2016). Design of a Three-Finger Robot Manipulator. *Manufacturing Technology*, 16 (3), 485–489. <https://doi.org/10.21062/ujep/x.2016/a/1213-2489/mt/16/3/485>
- Dižo, J., Harušinec, J., Blatnický, M. (2015). Multibody System of a Rail Vehicle Bogie with a Flexible Body. *Manufacturing Technology*, 15 (5), 781–788. <https://doi.org/10.21062/ujep/x.2015/a/1213-2489/mt/15/5/781>
- Dižo, J., Blatnický, M., Melnik, R., Karfa, M. (2022). Improvement of Steerability and Driving Safety of an Electric Three-Wheeled Vehicle by a Design Modification of its Steering Mechanism. *LOGI – Scientific Journal on Transport and Logistics*, 13 (1), 49–60. <https://doi.org/10.2478/logi-2022-0005>
- Kowalski, S., Cieślowski, B., Barta, D., Dižo, J., Dittrich, A. (2023). Analysis of the Operational Wear of the Combustion Engine Piston Pin. *Lubricants*, 11 (3), 100. <https://doi.org/10.3390/lubricants11030100>
- Goolak, S., Kyrychenko, M. (2022). Thermal Model of the Output Traction Converter of an Electric Locomotive with Induction Motors. *Problems of the Regional Energetics*, 3 (55), 1–16. <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2022.3-55.01>
- Goolak, S., Gorobchenko, O., Petrychenko, O., Holub, H., Kulbovskiy, I. (2025). Traction Drive Control System for Railway Electric Rolling Stock Based on the Application of Power Factor as an Optimization Criterion. *Problems of the Regional Energetics*, 3 (67), 1–12. <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2025.3-67.01>
- Kondratiev, A., Pištěk, V., Gajdachuk, V., Kharchenko, M., Nabokina, T., Kučera, P., Kučera, O. (2023). Effect of Ply Orientation on the Mechanical Performance of Carbon Fibre Honeycomb Cores. *Polymers*, 15 (11), 2503. <https://doi.org/10.3390/polym15112503>
- Dižo, J., Steišunas, S., Blatnický, M. (2017). Vibration Analysis of a Coach with the Wheel-flat Due to Suspension Parameters Changes. *Procedia Engineering*, 192, 107–112. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.019>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.360197

## REVEALING THE INFLUENCE OF STRUCTURAL JOINTS LOCATION IN A DRY CARGO SHIP ON DURABILITY PARAMETERS (p. 40–49)

**Dmytro Lytvynenko**

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2948-8698>

**Oleksandr Shchedrolosiev**

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7972-3882>

**Yuliia Kazymyrenko**

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7120-8226>

**Hanna Konovalova**

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1215-849X>

This work investigates the process of fatigue crack initiation in the structural joints of a dry cargo ship. The study addresses problematic issues related to changing the durability of the joints in the intersection of the longitudinal stiffener of the bottom and the floor, as well as the intersection of side structures and the double bottom along the length of the dry cargo ship.

Underlying the study is a simplified approach to determining external loads, the finite element method, the linear fatigue damage summation hypothesis, as well as the nominal stress approach.

Scientific ideas have been deepened about the regularities of changes in the parameters of the long-term load distribution on structural joints along the length of the dry cargo ship. The distribution scale parameter was taken as the criterion in the calculations. For the joint in the intersection of the longitudinal stiffener of the bottom and the floor, the distribution scale parameter increased when moving from the middle compartments of the ship to the bow by 5% for the loading condition “fully loaded vessel” and was unchanged for the loading condition “ship in ballast”. For the junction of the bottom and frame structures, this parameter increased by 11–12% for the loading condition “fully loaded vessel” and by 11.8–13.7% for the loading condition “vessel in ballast”.

It was established that the durability of both joints decreases from the middle part of the hull to the bow as follows: the junction of the longitudinal stiffener of the bottom and the floor – by 21%; the junction of the frame with a double bottom – by 42%.

The results are explained by the determining influence of local loads in the bow of the vessel. They could be applied in the field of shipbuilding and ship repair when designing dry cargo vessel structures and when planning hull condition inspections.

**Keywords:** ship hull, finite element method, load, stress range, fatigue damage.

## References

- Kozak, J., Górski, Z. (2011). Fatigue strength determination of ship structural joints. *Polish Maritime Research*, 18 (2). <https://doi.org/10.2478/v10012-011-0009-8>
- Corigliano, P., Frisone, F., Chianese, C., Altosole, M., Piscopo, V., Scamardella, A. (2024). Fatigue Overview of Ship Structures under Induced Wave Loads. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12 (9), 1608. <https://doi.org/10.3390/jmse12091608>
- Fatigue assessment of ship structures: DNVGL-CG-0129 (2015). DNV GL.
- Hobbacher, A. F. (2016). Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components. IIW Collection. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-23757-2>
- No. 56. Fatigue assessment of ship structures (1999). IACS Recommendation. Available at: [https://iacs.s3.af-south-1.amazonaws.com/wp-content/uploads/2022/05/20100843/rec\\_56\\_pdf231.pdf](https://iacs.s3.af-south-1.amazonaws.com/wp-content/uploads/2022/05/20100843/rec_56_pdf231.pdf)
- Niemi, E., Fricke, W., Maddox, S. J. (2018). Structural Hot-Spot Stress Approach to Fatigue Analysis of Welded Components. IIW Collection. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5568-3>
- Fricke, W. (2010). Guideline for the Fatigue Assessment by Notch Stress Analysis for Welded Structures. International Institute of Welding. IIW-Doc. XIII-2240r2-08/XV-1289r2-08. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/266038561\\_Guideline\\_for\\_the\\_Fatigue\\_Assessment\\_by\\_Notch\\_Stress\\_Analysis\\_for\\_Welded\\_Structures](https://www.researchgate.net/publication/266038561_Guideline_for_the_Fatigue_Assessment_by_Notch_Stress_Analysis_for_Welded_Structures)
- Ozguç, O. (2020). Simplified Fatigue Assessment of Hull Longitudinals Connections of an LNG Vessel. *GMO Journal of Ship and Marine Technology Journal*, 218, 21–35. Available at: <https://www.jnamt.org/pdf/25021570-dd5c-48cc-b052-771af43e75cc/articles/deneme.456457/21-35.pdf>
- Jurišić, P., Parunov, J., Senjanović, I. (2007). Assessment of Aframax Tanker Hull-Girder Fatigue Strength According to New Common Structural Rules. *Brodogradnja*, 58 (3), 262–267. Available at: <https://hrcak.srce.hr/file/25138>
- Review of Maritime Transport (2024). Geneva: United Nations. Available at: [https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2024\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2024_en.pdf)
- Korostylov, L., Lytvynenko, D., Sharun, H., Davydov, I. (2021). Improvement of trawler hull structure under condition of ensuring fatigue strength. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (7 (112)), 50–59. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239159>
- Ozguç, O. (2017). Simplified fatigue analysis of structural details of an ageing LPG carrier. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 17 (1), 33–42. <https://doi.org/10.1080/20464177.2017.1282075>
- Ozguç, O. (2021). Oil Tanker Simplified Fatigue Assessment with Inspection and Repair Approach and Parameters. *Transactions on Maritime Science*, 10 (1). <https://doi.org/10.7225/toms.v10.n01.003>
- Fricke, W., Cui, W., Kierkegaard, H., Kihl, D., Koval, M., Mikola, T. et al. (2002). Comparative fatigue strength assessment of a structural detail in a containership using various approaches of classification societies. *Marine Structures*, 15 (1), 1–13. [https://doi.org/10.1016/s0951-8339\(01\)00016-8](https://doi.org/10.1016/s0951-8339(01)00016-8)
- Blagojevic, B., Domazet, Ž. (2002). Simplified procedures for fatigue assessment of ship structures. 10th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean IMAM 2002. Rethymnon, Crete. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/310363752\\_SIMPLIFIED\\_PROCEDURES\\_FOR\\_FATIGUE\\_ASSESSMENT\\_OF\\_SHIP\\_STRUCTURES](https://www.researchgate.net/publication/310363752_SIMPLIFIED_PROCEDURES_FOR_FATIGUE_ASSESSMENT_OF_SHIP_STRUCTURES)
- Li, Z., Mao, W., Ringsberg, J. W., Johnson, E., Storhaug, G. (2014). A comparative study of fatigue assessments of container ship structures using various direct calculation approaches. *Ocean Engineering*, 82, 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2014.02.022>
- Watanabe, E., Inoue, S., Hashimoto, K., Sato, K., Sueoka, H. (1995). Proposal of simplified fatigue design method for side longitudinals. *Journal of the Society of Naval Architects of Japan*, 177, 391–398. Available at: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjasnaoe1968/1995/177/1995\\_177\\_391/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjasnaoe1968/1995/177/1995_177_391/_pdf)
- Logan, D. L. (2022). *A First Course in the Finite Element Method*. Boston: Cengage Learning, 976.
- Lytvynenko, D. Yu. (2017). Metodyky rozviazku zadach vtomnoi mitsnosti sudnokorpusnykh vuzliv pry nerekuljarnomu navantazheni na bazi eksperymentalno-teoretychnoho metodu. *Visnyk Odeskoho natsionalnoho morskoho universytetu*, 4 (53), 110–125. Available at: <http://visnyk.onmu.org.ua/index.php/1/issue/view/55/10>
- Serdiuchenko, A. M. (Ed.) (2012). *Osnovy teoriiy pruzhnosti, budivelnoi mekhaniky, mitsnosti ta vibratsiyi suden*. Mykolaiv: NUK, 422.
- Rehistr sudnoplavstva Ukrainy. *Pravyla klasyfikatsiyi ta pobudovy morskyykh suden*. Vol. 2 (2020). Kyiv: RSU, 792. Available at: [https://ur.ua/wp-content/uploads/2022/09/PCBSSt2\\_2020.pdf](https://ur.ua/wp-content/uploads/2022/09/PCBSSt2_2020.pdf)
- Glen, I. F., Dinovitzer, A., Paterson, R. B., Luznik, L., Bayley, C. (1999). *Fatigue Resistant Detail Design Guide for Ship Structures*. The Society of Naval Architects and Marine Engineers. <https://doi.org/10.5957/SSC405>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.364308

## REVEALING THE INFLUENCE OF DESIGN AND OPERATIONAL PARAMETERS ON THE CHARACTERISTICS OF A HYDROSTATIC BEARING IN AVIATION GEARBOX SATELLITES (p. 50–57)

Vladimir Nazin

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7872-5429>

This study investigates hydrostatic-dynamic processes in the hydrostatic-dynamic bearing of satellites in the aviation gearbox of a turboprop engine. The task addressed is to determine the influence of design parameters of a multi-chamber hydrostatic bearing on its basic characteristics taking into account the pressure of the working fluid and the diameter of the nozzle at the inlet to the bearing chambers. The basic characteristics considered are the bearing capacity, the flow rate of the working fluid, and the power loss due to friction. The basis for defining these characteristics is the pressure distribution function in the working fluid layer.

The influence of the working fluid pressure and the diameter of the nozzle at the inlet to the bearing chambers on the basic characteristics of the hydrostatic-dynamic bearing of the satellite of the aviation gearbox has been studied.

It has been established that the required bearing capacity for the selected design and adopted dimensions of the hydrostatic-dynamic bearing is provided at a pressure at the inlet to the bearing chambers of approximately 3 MPa. The value of the bearing capacity at a pressure of 3 MPa is 5438 N. The flow rate of the working fluid at this pressure does not exceed 0.0011 m<sup>3</sup>/s, or 1.1 l/s. The total power losses due to friction and pumping are approximately 6 kW. With an

engine power of 1876 kW, the power losses on 4 satellite bearings are approximately 1.28% of the total engine power.

The results are obtained with a nozzle diameter at the inlet to the bearing chambers of 2.5 mm. Such a nozzle diameter allows for reliable operation of the hydrostatic-dynamic bearing under various operating modes.

The findings show that by selecting the design and operational parameters, the hydrostatic-dynamic bearing provides the necessary bearing capacity of the supports of satellites in aircraft gearboxes. Power losses from the use of hydrostatic bearings in the satellites of the aircraft gearbox practically do not affect the total power of the turboprop engine.

**Keywords:** support, satellites, aviation gearbox, bearing chamber, jet, pressure, working fluid.

## References

- Gong, J., Liu, K., Meng, F., Wang, H., Xu, H. (2024). Effect of meshing-induced deformation on lubrication for journal planet gear bearings. *International Journal of Mechanical Sciences*, 284, 109747. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2024.109747>
- Liu, J., Ding, S., Wang, L., Li, H., Xu, J. (2019). Effect of the bearing clearance on vibrations of a double-row planetary gear system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part K: Journal of Multi-Body Dynamics*, 234 (2), 347–357. <https://doi.org/10.1177/1464419319893488>
- Li, X., Liu, J., Xu, J., Chen, Y., Hu, Z., Pan, G. (2023). A vibration model of a planetary bearing system considering the time-varying wear. *Nonlinear Dynamics*, 111 (21), 19817–19840. <https://doi.org/10.1007/s11071-023-08845-5>
- Liu, J., Xu, Y., Shao, Y., Xiao, H., Li, H. (2018). The effect of a localized fault in the planet bearing on vibrations of a planetary gear set. *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design*, 53 (5), 313–323. <https://doi.org/10.1177/0309324718769491>
- Li, H., Tan, J., Fei, W., Zhu, C., Sun, Y., Sun, Z. (2025). Collaborative optimization of meshing and lubrication for planetary gear-journal bearing integrated structure in high power density wind turbine drivetrains. *Renewable Energy*, 255, 123763. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.123763>
- Chen, Q., Zhang, K., Zhang, Y., Ding, Q., Zhu, Y., Feng, K. (2024). Full-Size Experimental Investigations on Planetary Gear Journal Bearings in High-Power Wind Turbines. *Journal of Tribology*, 147 (3). <https://doi.org/10.1115/1.4066648>
- Zhou, C., Wang, R., Fu, D., Zhao, N., Ma, X. (2025). Joint Modeling of Planetary Gear Train and Bearings of Wind Turbines for Vibration Analysis of Planetary Bearing Outer Ring Looseness Fault. *Energies*, 18 (22), 5938. <https://doi.org/10.3390/en18225938>
- Tchufistov, E. A., Tchufistov, O. E. (2020). Simulation of satellite bearings loading in planetary cycloid gear. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 971 (4), 42048. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/971/4/042048>
- Ding, H., Mermertas, Ü., Hagemann, T., Schwarze, H. (2024). Calculation and Validation of Planet Gear Sliding Bearings for a Three-Stage Wind Turbine Gearbox. *Lubricants*, 12 (3), 95. <https://doi.org/10.3390/lubricants12030095>
- Suzuki, A., Aoyama, T., Sugiura, N., Inagaki, M., Shimizu, T. (2011). Influence of Bearing Clearance on Load Sharing in Planetary Gears. *Volume 8: 11th International Power Transmission and Gearing Conference; 13th International Conference on Advanced Vehicle and Tire Technologies*, 259–265. <https://doi.org/10.1115/detc2011-47622>
- Fingerle, A., Hochrein, J., Otto, M., Stahl, K. (2019). Theoretical Study on the Influence of Planet Gear Rim Thickness and Bearing Clearance on Calculated Bearing Life. *Journal of Mechanical Design*, 142 (3). <https://doi.org/10.1115/1.4045244>
- Keller, J., Guo, Y., Zhang, Z., Lucas, D. (2018). Comparison of planetary bearing load-sharing characteristics in wind turbine gearboxes. *Wind Energy Science*, 3 (2), 947–960. <https://doi.org/10.5194/wes-3-947-2018>
- Jang, J. Y., Khonsari, M. M. (2020). On the wear of dynamically-loaded engine bearings with provision for misalignment and surface roughness. *Tribology International*, 141, 105919. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.105919>
- Dong, P., Lai, J., Guo, W., Tenberge, P., Xu, X., Liu, Y., Wang, S. (2023). An analytical approach for calculating thin-walled planet bearing load distribution. *International Journal of Mechanical Sciences*, 242, 108019. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2022.108019>
- Nazin, V. (2024). Identifying the influence of design parameters of single-chamber hydrostatic bearing of fuel pump on its main characteristics. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (127)), 30–36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298646>
- Nazin, V. (2023). Revealing the influence of structural and operational parameters of a hydrostatic bearing in a gear-type fuel pump on its main characteristics. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (122)), 92–98. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277755>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.361507

## IDENTIFICATION OF THE INFLUENCE OF BEND ANGLE IN AN L-SHAPED CHANNEL ON INCOMPRESSIBLE VISCOUS FLOW (p. 58–70)

**Almas Temirbekov**

Al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4157-2799>

**Zhadra Zhaksylykova**

Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University,  
Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1566-1926>

**Bekdaulet Khudaibergen**

Al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3473-363X>

**Nurlan Temirbekov**

Al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7542-3778>

The object of this study is steady two-dimensional incompressible viscous flow in L-shaped channels with different bend angles. The problem to be solved is to determine how the bend angle affects the flow pattern and hydraulic losses. Two geometries are compared: channels with 45° and 90° bends. The computations are carried out for Re = 500, 1000, and 2000. The flow is described by the stationary Navier-Stokes equations, which are solved by the finite element method. Newton's method is used to solve the nonlinear system. The comparison is performed under the same boundary conditions and computational parameters.

The results are analyzed using velocity and pressure fields, stream-function distributions, pressure drop, loss coefficient, and Euler number. The calculations show that the 90° bend causes a stronger change in the flow after the corner than the 45° bend. In the 90° channel, the direction of motion changes more sharply. Therefore, the velocity field downstream of the bend is more distorted, the gradients are higher, and recirculation zones become more visible as Re increases. In the 45° channel, the turn is smoother, so the velocity and pressure fields change more regularly.

The integral characteristics confirm this result. For all Re considered, the 90° bend gives a larger pressure drop than the 45° bend. The loss coefficient and Euler number vary with Re, but the 90° geometry remains less favorable. This is explained by stronger rearrangement of the flow caused by the sharper turn. The influence of the bend angle is shown both by field plots and by pressure-loss indicators. The results may be used in design of ducts, cooling channels, and pipelines when pressure losses in curved parts should be reduced.

**Keywords:** Viscous flow, L-shaped channel, incompressible Navier-Stokes equations, finite element method.

## References

- Glowinski, R. (1984). *Numerical Methods for Nonlinear Variational Problems*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-12613-4>
- Olshanskii, M. A. (2002). A low order Galerkin finite element method for the Navier–Stokes equations of steady incompressible flow: a stabilization issue and iterative methods. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 191 (47-48), 5515–5536. [https://doi.org/10.1016/s0045-7825\(02\)00513-3](https://doi.org/10.1016/s0045-7825(02)00513-3)
- Varun Kumar, R., Nagaraja, K. V., Kovács, E., Shah, N. A., Chung, J., Prasannakumara, B. C. (2023). Accelerating finite element modeling of heat sinks with parallel processing using FEniCSx. *Case Studies in Thermal Engineering*, 44, 102865. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.102865>
- Larson, M. G., Bengzon, F. (2013). *The Finite Element Method: Theory, Implementation, and Applications*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-33287-6>
- Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L., Zhu, J. Z. (2013). *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*. Oxford: Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/c2009-0-24909-9>
- Bilal, F. S., Sedrez, T. A., Shirazi, S. A. (2021). Experimental and CFD investigations of 45 and 90 degrees bends and various elbow curvature radii effects on solid particle erosion. *Wear*, 476, 203646. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203646>
- Ben Haroual, B., Albagnac, J., Brancher, P., Cazin, S., Boldo, D., Thibert, E., Mathis, R. (2025). Experimental investigation of Dean-vortices oscillation downstream of a 90° Bend. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 163, 111402. <https://doi.org/10.1016/j.exptthermfluidsci.2024.111402>
- Heskestad, G. (1971). Two-Dimensional Miter-Bend Flow. *Journal of Basic Engineering*, 93 (3), 433–443. <https://doi.org/10.1115/1.3425271>
- Yamashita, H., Izumi, R., Kushida, G., Mizuno, T. (1986). Fluid Flow and Heat Transfer in a Two-dimensional Miter-bend : 1st Report, Experiments and Analyses. *Bulletin of JSME*, 29 (258), 4164–4169. <https://doi.org/10.1299/jsme1958.29.4164>
- Xiong, R., Chung, J. N. (2008). Effects of miter bend on pressure drop and flow structure in micro-fluidic channels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51 (11-12), 2914–2924. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2007.09.018>
- Al-Tameemi, W. T. M., Ricco, P. (2018). Pressure-Loss Coefficient of 90 deg Sharp-Angled Miter Elbows. *Journal of Fluids Engineering*, 140 (6). <https://doi.org/10.1115/1.4038986>
- Villegas-León, J. J. (2025). Head losses and experimental loss coefficient in 45° and 90° elbow of pvc small-diameter pipes for single-phase flow and moderate reynolds numbers. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 3. <https://doi.org/10.35741/issn.0258-2724.60.3.5>
- Varun Kumar, R., Nagaraja, K. V. (2023). Steady solver for incompressible Navier-Stokes equation with automated adaptive mesh refinement using FEniCS. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.425>
- Temirbekov, A., Baigereyev, D., Temirbekov, N., Urmashiev, B., Amantayeva, A. (2021). Parallel CUDA implementation of a numerical algorithm for solving the Navier-Stokes equations using the pressure uniqueness condition. *International Conference on Analysis and Applied Mathematics (Icaam 2020)*, 2325, 20063. <https://doi.org/10.1063/5.0041039>
- Temirbekov, A., Altybay, A., Temirbekova, L., Kasenov, S. (2022). Development of parallel implementation for the Navier-Stokes equation in doubly connected areas using the fictitious domain method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (4 (116)), 38–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254261>
- Temirbekov, A., Zhaksylykova, Z., Malgazhdarov, Y., Kasenov, S. (2022). Application of the Fictitious Domain Method for Navier-Stokes Equations. *Computers, Materials & Continua*, 73 (1), 2035–2055. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.027830>
- Baitulenov, Z., Olshanskii, M., Temirbekov, A., Temirbekov, N., Kasenov, S. (2026). A Modified Brinkman Penalization Fictitious Domain Method for the Unsteady Navier-Stokes Equations. *Numerical Methods for Partial Differential Equations*, 42 (3). <https://doi.org/10.1002/num.70089>
- Temirbekov, N., Khakimzyanov, G., Kerimakyn, A. (2026). Application of the Curvilinear Coordinate Method for the Numerical Solution of the Navier–Stokes Equations in Domains with Complex Boundaries. *Computation*, 14 (3), 58. <https://doi.org/10.3390/computation14030058>
- Çengel, Y., Cimbala, J. (2017). *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*. New York: McGraw-Hill Higher Education, 1024.
- Galdi, G. P. (2011). *An Introduction to the Mathematical Theory of the Navier-Stokes Equations*. Springer Monographs in Mathematics. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-09620-9>
- Automated Solution of Differential Equations by the Finite Element Method (2012). *Lecture Notes in Computational Science and Engineering*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-23099-8>
- Langtangen, H. P., Mardal, K.-A. (2016). *Introduction to Numerical Methods for Variational Problems*. Available at: <http://hplgit.github.io/fem-book/doc/web/>
- Alnæs, M. S., Blechta, J., Hake, J. et al. (2015) The FEniCS Project Version 1.5. *Archive of Numerical Software*, 3 (100), 23. <https://doi.org/10.11588/ans.2015.100.20553>
- Langtangen, H. P., Logg, A. (2016). *Solving PDEs in Python*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-52462-7>
- Kumar, V., Chandan, K., Nagaraja, K. V., Reddy, M. V. (2022). Heat Conduction with Krylov Subspace Method Using FEniCSx. *Energies*, 15 (21), 8077. <https://doi.org/10.3390/en15218077>
- Geuzaine, C., Remacle, J.-F. (2009). Gmsh: A 3-D finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 79 (11), 1309–1331. <https://doi.org/10.1002/nme.2579>
- Baigereyev, D., Omariyeva, D., Temirbekov, N., Yergaliyev, Y., Boranbek, K. (2022). Numerical Method for a Filtration Model Involving a Nonlinear Partial Integro-Differential Equation. *Mathematics*, 10 (8), 1319. <https://doi.org/10.3390/math10081319>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.365474

DEVELOPMENT A COMPUTATIONALLY EFFICIENT METHOD TO SOLVE DIRECT AND INVERSE AERODYNAMIC PROBLEMS RELATED TO TURBOMACHINES (p. 71–82)

Valery Subotovich

Anatolii Pidhornyi Institute of Power Machines and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7051-4758>

Oleksandr Yudin

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5098-7796>

**Artem Babaiev**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8685-0974>

**Valentyn Barannik**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4549-3577>

**Olena Avdieieva**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9358-4265>

This study investigates aerodynamic processes in interblade, axial annular, and radial-axial channels in turbomachines. The task addressed relates to the need to improve the computational efficiency in solving direct and inverse aerodynamic problems when analyzing and designing flow parts of turbomachines.

A computationally efficient method for solving direct and inverse aerodynamic problems has been proposed, which provides acceptable accuracy for engineering practice at significantly lower computational costs compared to conventional CFD approaches. The results include a devised single mathematical formulation based on Euler equations for a compressible fluid, written in terms of the flow function.

The proposed method makes it possible to consider direct and inverse problems within a common mathematical structure. The system of equations is reduced to a single differential equation and a set of algebraic relations while the global flow problem is decomposed into a set of independent problems for individual cross-sections. The inverse problem is stated as a nonlinear optimization problem based on the mass flow rate agreement condition derived from the energy equation. The computational complexity is reduced by using the flow function and the decomposition of the computational domain.

The method combines the capabilities of direct analysis and reconstruction of the flow channel geometry based on the predefined aerodynamic characteristics. Verification by experimental data and direct calculation results demonstrated good agreement between the velocity distributions and the reconstructed geometry; the maximum deviations did not exceed 0.3%.

The results could be practically applied to preliminary design, parametric optimization, as well as inverse design of the flow parts in turbomachines.

**Keywords:** inverse problem, flow function, Euler equation, quasi-three-dimensional flow, flow section; aerodynamic design.

**References**

- Denton, J. D. (1983). An Improved Time-Marching Method for Turbomachinery Flow Calculation. *Journal of Engineering for Power*, 105 (3), 514–521. <https://doi.org/10.1115/1.3227444>
- Denton, J. D. (1993). The 1993 IGTI Scholar Lecture: Loss Mechanisms in Turbomachines. *Journal of Turbomachinery*, 115 (4), 621–656. <https://doi.org/10.1115/1.2929299>
- Dawes, W. N. (1993). The Extension of a Solution-Adaptive Three-Dimensional Navier–Stokes Solver Toward Geometries of Arbitrary Complexity. *Journal of Turbomachinery*, 115 (2), 283–295. <https://doi.org/10.1115/1.2929234>
- Denton, J. D., Dawes, W. N. (1998). Computational fluid dynamics for turbomachinery design. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 213 (2), 107–124. <https://doi.org/10.1243/0954406991522211>
- Dawes, W. N. (2007). Turbomachinery computational fluid dynamics: asymptotes and paradigm shifts. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365 (1859), 2553–2585. <https://doi.org/10.1098/rsta.2007.2021>
- Sandberg, R. D., Michelassi, V. (2019). The Current State of High-Fidelity Simulations for Main Gas Path Turbomachinery Components and Their Industrial Impact. *Flow, Turbulence and Combustion*, 102 (4), 797–848. <https://doi.org/10.1007/s10494-019-00013-3>
- Sandberg, R. D., Michelassi, V. (2022). Fluid Dynamics of Axial Turbomachinery: Blade- and Stage-Level Simulations and Models. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 54 (1), 255–285. <https://doi.org/10.1146/annurev-fluid-031221-105530>
- Slotnick, J., Khodadoust, A., Alonso, J., Darmofal, D., Gropp, W., Lurie, E., Mavriplis, D. J. (2014). *CFD Vision 2030 Study: A Path to Revolutionary Computational Aerosciences*. NASA Technical Report. Available at: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20140003093>
- Wheeler, A. P. S. (2024). High fidelity simulation of dense vapours with thermodynamic consistent modelling. *Computers & Fluids*, 268, 106088. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2023.106088>
- Zhang, E., Watanabe, T., Lai, Z., Bai, B. (2024). A compressible flow solver for turbomachinery of the real gases with strongly variable properties. *Energy*, 290, 129915. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129915>
- Menter, F. R. (1994). Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAA Journal*, 32 (8), 1598–1605. <https://doi.org/10.2514/3.12149>
- Pope, S. B. (2000). *Turbulent Flows*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511840531>
- Hammond, J., Pepper, N., Montomoli, F., Michelassi, V. (2022). Machine Learning Methods in CFD for Turbomachinery: A Review. *International Journal of Turbomachinery, Propulsion and Power*, 7 (2), 16. <https://doi.org/10.3390/ijtp7020016>
- Waschkowski, F., Zhao, Y., Sandberg, R., Klewicki, J. (2022). Multi-objective CFD-driven development of coupled turbulence closure models. *Journal of Computational Physics*, 452, 110922. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2021.110922>
- Spalart, P. R. (2021). Hybrid RANS-LES Methods. *Advanced Approaches in Turbulence*, 133–159. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-820774-1.00010-0>
- Jameson, A. (1988). Aerodynamic design via control theory. *Journal of Scientific Computing*, 3 (3), 233–260. <https://doi.org/10.1007/bf01061285>
- Giles, M. B., Pierce, N. A. (2000). An Introduction to the Adjoint Approach to Design. *Flow, Turbulence and Combustion*, 65 (3-4), 393–415. <https://doi.org/10.1023/a:1011430410075>
- Shahpar, S. (2010). Optimisation Strategies Used in Turbomachinery Design from an Industrial Perspective. In book: *INTRODUCTION TO OPTIMIZATION AND MULTIDISCIPLINARY DESIGN IN AERONAUTICS AND TURBOMACHINERY*. Vol. 1. Chap. 7. Publisher: Von-Karman Institute (VKI). Available at: [https://www.researchgate.net/publication/267763601\\_Optimisation\\_strategies\\_used\\_in\\_turbomachinery\\_design\\_from\\_an\\_industrial\\_perspective](https://www.researchgate.net/publication/267763601_Optimisation_strategies_used_in_turbomachinery_design_from_an_industrial_perspective)
- Li, Z., Zheng, X. (2017). Review of design optimization methods for turbomachinery aerodynamics. *Progress in Aerospace Sciences*, 93, 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2017.05.003>
- Lavimi, R., Benchikh Le Hocine, A. E., Poncet, S., Marcos, B., Paneton, R. (2024). A review on aerodynamic optimization of turbomachinery using adjoint method. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 238 (13), 6405–6441. <https://doi.org/10.1177/09544062231221625>
- Wu, C.-H. (1952). A General Theory of Three-Dimensional Flow in Subsonic and Supersonic Turbomachines of Axial, Radial, and Mixed-Flow Types. *Journal of Fluids Engineering*, 74 (8), 1363–1380. <https://doi.org/10.1115/1.4016114>

22. Novak, R. A., Hearsey, R. M. (1977). A Nearly Three-Dimensional Intrablade Computing System for Turbomachinery. *Journal of Fluids Engineering*, 99 (1), 154–166. <https://doi.org/10.1115/1.3448517>
23. Davis, W. R., Millar, D. A. J. (1975). A Comparison of the Matrix and Streamline Curvature Methods of Axial Flow Turbomachinery Analysis, From a User's Point of View. *Journal of Engineering for Power*, 97 (4), 549–558. <https://doi.org/10.1115/1.3446059>
24. Denton, J. D. (1978). Throughflow Calculations for Transonic Axial Flow Turbines. *Journal of Engineering for Power*, 100 (2), 212–218. <https://doi.org/10.1115/1.3446336>
25. Li, Z., Liu, Y. (2023). An Aerodynamic Loss Model for Axial Turbine Design. *Journal of Turbomachinery*, 145 (9). <https://doi.org/10.1115/1.4062804>
26. Subbotovich, V. P., Yudin, A. Yu. (2004). Zadacha rascheta skorosti na poverhnosti lopatki turbomashiny kak zadacha optimizatsii. *Vestnik Nacionalnogo tehnikeskogo universiteta «HPI»*, 12, 101–106.
27. Subbotovich, V. P., Yudin, A. Yu., Fan, K. T. (2008). Obtekanie trehmernym potokom reshetki profilej turbomashiny na poverhnosti vrasheniya. *Vestnik Nacionalnogo tehnikeskogo universiteta «HPI»*, 6, 41–46. Available at: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/18786>
28. Subbotovich, V. P., Yudin, A. Yu., Temchenko, S. A. (2011). Metod rascheta techeniya v oseradialnykh kolcevykh kanalah. *Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu «KhPI». Seriya: Enerhetychni ta teplotekhnichni protsesy y ustatkuvannia*, 6, 24–27. Available at: [https://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2011\\_6.pdf](https://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2011_6.pdf)
29. Subbotovich, V. P. (2013). Potok cherez vrashayushuyusya reshetku osevoy turbomashiny na proizvolnoy poverhnosti S1. *Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu «KhPI». Seriya: Enerhetychni ta teplotekhnichni protsesy y ustatkuvannia*, 14 (987), 43–48. Available at: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/3813>
30. Subbotovich, V. P. (2013). Kompleksnoe teoreticheskoe i eksperimentalnoe reshenie zadach aerodinamiki protochnykh chastey turbin. *Kharkiv: NTU «KhPI»*, 355.
31. Kopelev, S. Z., Slitenko, A. F. (1994). Konstrukcii i raschet sistem ohlazhdeniya GTD. *Kharkiv: Osnova*, 240.
32. Tarasov, A. I., Gurinov, A. A., Rassohin, E. V. (2005). O modelirovanii teploobmena na profilyah turbiny lopatok s pomoshyu CFD programm. *Vestnik Nacionalnogo tehnikeskogo universiteta «HPI»*, 6, 81–84.
33. Temchenko, S. A. (2015). Obratnaya aerodinamicheskaya zadacha dlya optimalnogo proektirovaniya kolcevykh diffuzornykh kanalov turbomashin. *Kharkiv: NTU «KhPI»*, 147.
34. Subbotovich, V. P., Yudin, A. Yu., Temchenko, S. A. (2014). Raschet turbinnoy stupeni po zazoram kak reshenie obratnykh aerodinamicheskikh zadach v svobodnykh kolcevykh kanalah. *Vestnik Nacionalnogo tehnikeskogo universiteta «HPI»*, 13, 35–38. Available at: <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/88c0b411-ad9f-4a63-b64f-2d8cf0208ae7>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.351704****РОЗРОБКА ЛЕГКОЇ ШИНИ ДЛЯ ВІДВЕДЕННЯ КІСТОК ДЛЯ ДІТЕЙ З ДКШ ЗА ДОПОМОГОЮ ТОПОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ (с. 6–21)****Alex Condori Lopez, Eber Mejia Tola, Yuri Silva Vidal, Erick Valdeiglesias Flores, Daniela Ponte Lopez, Trunks Vasquez Llave**

Об'єктом дослідження є структурна геометрія абдукційної шини для дітей з дисплазією розвитку. Вирішена проблема – існуючі комерційні ортопедичні вироби мають надмірну вагу та неналежний розподіл контактної тиску, що призводить до пошкодження м'яких тканин, подразнення шкіри та низької прихильності до лікування у дітей. Основні наукові результати – для перепроєктування геометрії шини було застосовано топологічну оптимізацію на основі ізотропного твердого матеріалу з використанням методу штрафування. Три медичні полімери (ABS Medical, PETG Medical та PP) були порівняно оцінені за допомогою статичного аналізу методом скінчених елементів (FEA). ABS Medical було обрано як оптимальний матеріал завдяки його початковому коефіцієнту безпеки 14,95. Ітераційний процес оптимізації, що охопив 81 цикл, дозволив зменшити масу на 18,96% (з 395,34 г до 320,38 г) при збереженні коефіцієнта безпеки 13,69, що значно перевищує мінімальне значення 2,52, встановлене за методом Пагслі для педіатричних медичних виробів. Піковий контактний тиск досяг 0,962 кПа, що значно нижче критичного порогу капілярної оклюзії в 5,2 кПа. Інтерпретація – зменшення ваги є результатом перерозподілу матеріалу вздовж головних векторів напруження, визначених за допомогою аналізу методом скінчених елементів. Відмінні риси – цей підхід дозволяє досягти майже подвійного зменшення маси порівняно з аналогічними дослідженнями (18,96% проти 9,58%). Практична цінність – ці результати забезпечують перевірену методологію для виготовлення легких і безпечніших ортопедичних пристроїв за допомогою адитивного виробництва методом наплавлення (FDM), що дозволяє мінімізувати дерматологічні ускладнення.

**Ключові слова:** дисплазія, абдукційна шина, оптимізація, метод скінчених елементів, адитивне виробництво, педіатрія.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.364307****ОЦІНЮВАННЯ НЕБЕЗПЕКИ РУЙНУВАННЯ ГРЕБЕНЯ КОЛЕСА РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ ЗА НАПРУЖЕННЯМИ ЗГИНАННЯ ТА КОНТАКТНОЇ ВТОМИ (с. 22–32)****С. Ю. Сапронова, О. В. Воробйов, А. О. Клімаш**

Об'єктом дослідження є напружено-деформований стан гребеня колеса рухомого складу залізниць в умовах дії бокових сил взаємодії колеса і рейки та розвитку контактно-втомних пошкоджень. Проблема, що вирішувалася у рамках даного дослідження, полягає у відсутності комплексного оцінювання небезпеки руйнування гребеня колеса, який би одночасно враховував напруження згинання, контактну втому та зміну товщини гребеня внаслідок експлуатаційного зношування.

Пропонується гребінь колеса у вигляді згинального елемента, навантаженого боковою силою взаємодії колеса з рейкою. Отримано аналітичну залежність для визначення напружень згинання залежно від товщини гребеня та величини бокової сили. Запропоновано індекс небезпеки, побудований шляхом нормування еквівалентних контактних напружень відносно межі контактної витривалості матеріалу колеса. На основі поєднання контактної товщини та коефіцієнта запасу по втомі розроблено комбінований критерій оцінювання небезпеки руйнування гребеня.

Особливістю отриманих результатів є встановлення аналітичної залежності між товщиною гребеня та втомними напруженнями згинання. Встановлено, що зменшення товщини гребеня з 30 до 22 мм призводить до зростання втомних напружень майже у 1,9 раза. Побудовано карту небезпеки руйнування у координатах «товщина гребеня-бокова сила», яка дозволяє визначити області безпечної та небезпечної експлуатації.

Сфера практичного використання отриманих результатів – залізничний транспорт.

Умовою використання результатів дослідження є оцінювання технічного стану та прогнозування ресурсу гребенів коліс рухомого складу в умовах дії бокових навантажень в гребеневому контакті.

Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності системи технічного обслуговування колісних пар залізничного транспорту.

**Ключові слова:** залізничний транспорт, напруження згинання, контактна втома, бокова сила, товщина гребеня.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.360214****ВИЯВЛЕННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ КУЗОВА КРИТОГО ВАГОНА, МОДЕРНІЗОВАНОГО ПІД ПЕРЕВЕЗЕННЯ КОНТЕЙНЕРІВ (с. 33–39)****С. В. Панченко, А. О. Ловська, А. О. Мурад'ян, Є. С. Пелипенко, В. Л. Ромах**

Об'єктом дослідження є процес навантаженості кузова критого вагона, модернізованого під перевезення контейнерів. Проблема, що вирішувалась у рамках даного дослідження, полягає у необхідності підвищення ефективності перевезень контейнерів залізничним транспортом. Для цього пропонується використання критих вагонів з урахуванням модернізації їх конструкції. Дана модернізація полягає у демонтажі даху та постановці на підлогу фітінгових упорів для кріплення контейнерів. Дослідження проведено на прикладі універсального критого вагона моделі 11-217. Проведено розрахунок на міцність кузова критого вагона при прийнятті ним

вертикальних навантажень від контейнерів, а також одночасної дії вертикальних та повздовжніх навантажень. Встановлено, що при сприйнятті вертикальних навантажень кузовом критого вагона максимальні напруження в його конструкції на 8,3% є нижчими за допустимі. При одночасному сприйнятті вертикальних та повздовжніх навантажень максимальні напруження в кузові на 4% нижчі за допустимі. Отримані результати розрахунків доводять, що міцність кузова критого вагона із урахуванням запропонованої модернізації дотримується.

Особливістю запропонованої модернізації є те, що за необхідності конструкція кузова критого вагона може бути повернена до початкового стану.

Сфера практичного використання отриманих результатів – залізничний транспорт.

Умовою використання результатів дослідження є симетричне розміщення фітингових упорів відносно поперечної осі кузова критого вагона, що обумовлено необхідністю забезпечення рівномірного навантаження обох візків вагона.

Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності перевезень контейнерів залізницею та контейнерних перевезень в цілому.

**Ключові слова:** залізничний транспорт, критий вагон, модернізація конструкції кузова, міцність кузова, контейнерні перевезення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.360197

### ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ РОЗТАШУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ВУЗЛІВ СУХОВАНТАЖНОГО СУДНА НА ПАРАМЕТРИ ДОВГОВІЧНОСТІ (с. 40–49)

Д. Ю. Литвиненко, О. В. Щедролюєв, Ю. О. Казимиренко, Г. В. Коновалова

Об'єктом дослідження є процес зародження втомних тріщин у вузлах суховантажного судна. Дослідження присвячено проблемним питанням зміни довговічності вузлів перетину поздовжнього ребра жорсткості днища та флору, а також перетину конструкцій борту та подвійного дна вздовж довжини суховантажного судна.

Дослідження базувалося на використанні спрощеного підходу до визначення зовнішніх навантажень, методу скінченних елементів, лінійної гіпотези сумування втомних пошкоджень, методу номінального напруження.

Поглиблено наукові уявлення про закономірності зміни параметрів довготермінового розподілу навантаження на конструктивні вузли за довжиною суховантажного судна. В розрахунках за критерій було прийнято параметр масштабу розподілу. Для вузла перетину поздовжнього ребра жорсткості днища та флору параметр масштабу розподілу збільшувався при переході від середніх відсіків судна до носового на 5% для розрахункового стану «судно у повному вантажі» та був незмінним для розрахункового стану «судно в баласті». Для вузла перетину конструкцій днища та шпангоуту цей параметр зростав на 11–12% для розрахункового стану «судно у повному вантажі» та на 11,8–13,7% для розрахункового стану «судно в баласті».

Встановлено, що довговічність обох вузлів зменшується від середньої частини корпусу до носової наступним чином: вузла перетину поздовжнього ребра жорсткості днища та флору – на 21%; вузла перетину шпангоуту із подвійним дном – на 42%.

Отримані результати пояснюються визначальним впливом місцевих навантажень у носовій частині судна. Вони можуть бути застосовані у сфері суднобудування та судноремонту при проектуванні конструкцій суховантажних суден та при плануванні інспекцій стану корпусу.

**Ключові слова:** корпус судна, метод скінченних елементів, навантаження, розмах напружень, втомне пошкодження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.364308

### ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ГІДРОСТАТИЧНОГО ПІДШИПНИКА САТЕЛІТІВ АВІАЦІЙНОГО РЕДУКТОРА (с. 50–57)

В. І. Назін

Об'єктом дослідження є гідростатодинамічні процеси в гідростатодинамічному підшипнику сателітів авіаційного редуктора турбогвинтового двигуна. Вирішувалась проблема впливу конструктивних параметрів багатокамерного гідростатичного підшипника на його основні характеристики з урахуванням тиску робочої рідини і діаметру жиклера на вході в несучі камери. Як основні характеристики розглядалися несуча здатність, витрати робочої рідини і втрати потужності на тертя. В основі визначення перерахованих характеристик була функція розподілу тиску в шарі робочої рідини.

Досліджувався вплив тиску робочої рідини і діаметра жиклера на вході в несучі камери на основні характеристики гідростатодинамічного підшипника сателіта авіаційного редуктора.

Встановлено, що необхідна несуча здатність для обраної конструкції і прийнятих розмірів гідростатодинамічного підшипника забезпечується при величині тиску на вході в несучі камери приблизно при 3 МПа. Величина несучої здатності при тиску 3 МПа складає 5438 Н. Витрата робочої рідини при такому тиску не перевищує 0,0011 м<sup>3</sup>/с, або 1,1 л/с. Сумарні втрати потужності на тертя і прокачування складають приблизно 6 кВт. При потужності двигуна 1876 кВт втрати потужності на 4 сателітних підшипниках складають приблизно 1,28% від загальної потужності двигуна.

Наведені результати отримані при діаметрі жиклера на вході в несучі камери 2,5 мм. Такий діаметр жиклера дозволяє забезпечити надійну роботу гідростатодинамічного підшипника на різних режимах його роботи.

Отримані результати показують, що підбором конструктивних і експлуатаційних параметрів, гідростатодинамічний підшипник забезпечує необхідну несучу здатність опор сателітів авіаційних редукторів. Втрати потужності від використання гідростатичних підшипників в сателітах авіаційного редуктора практично не впливають на загальну потужність турбогвинтового двигуна.

**Ключові слова:** опора, сателіти, авіаційний редуктор, несуча камера, жиклер, тиск, робоча рідина.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.361507****ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ КУТА ВИГИНУ В L-ОБРАЗНОМУ КАНАЛІ НА НЕСТИСЛИВИЙ В'ЯЗКИЙ ПОТІК (с. 58–70)****Almas Temirbekov, Zhadra Zhaksylykova, Bekdaulet Khudaibergen, Nurlan Temirbekov**

Об'єктом дослідження є стаціонарна двовимірна течія нестисливої в'язкої рідини в L-подібних каналах з різними кутами повороту. Проблема, що розв'язується, полягає у визначенні того, як кут повороту впливає на структуру течії та гідравлічні втрати. Порівнюються дві геометрії: канали з поворотами  $45^\circ$  і  $90^\circ$ . Розрахунки виконано для  $Re = 500, 1000$  і  $2000$ . Течія описується стаціонарними рівняннями Нав'є-Стокса, які розв'язано методом скінченних елементів. Для нелінійної системи використано метод Ньютона. Порівняння виконано за однакових граничних умов і параметрів розрахунку.

Результати проаналізовано за полями швидкості й тиску, розподілами функції течії, перепадом тиску, коефіцієнтом гідравлічних втрат і числом Ейлера. Розрахунки показали, що поворот  $90^\circ$  спричиняє сильнішу зміну течії після кута, ніж поворот  $45^\circ$ . У каналі з кутом  $90^\circ$  напрям руху змінюється різкіше. Тому поле швидкості за поворотом є більш деформованим, градієнти більші, а зони рециркуляції стають помітнішими зі зростанням  $Re$ . У каналі з кутом  $45^\circ$  поворот є плавнішим, тому поля швидкості й тиску змінюються регулярно.

Інтегральні характеристики підтверджують цей результат. Для всіх розглянутих  $Re$  поворот  $90^\circ$  дає більший перепад тиску, ніж поворот  $45^\circ$ . Коефіцієнт втрат і число Ейлера змінюються з  $Re$ , але геометрія  $90^\circ$  залишається менш сприятливою. Це пояснюється сильнішою перебудовою течії, викликаною різкішим поворотом. Особливістю результатів є те, що вплив кута повороту показано як за полями, так і за показниками втрат тиску. Це дозволило прямо визначити вплив кута повороту. Результати можуть бути використані під час проектування повітроводів, охолоджувальних каналів і трубопроводів, коли потрібно зменшити втрати тиску в криволінійних ділянках.

**Ключові слова:** в'язка течія, L-подібний канал, нестисливі рівняння Нав'є-Стокса, метод скінченних елементів.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.365474****РОЗРОБКА ОБЧИСЛЮВАЛЬНО ЕФЕКТИВНОГО МЕТОДУ ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРЯМИХ ТА ОБЕРНЕНИХ АЕРОДИНАМІЧНИХ ЗАДАЧ У ТУРБОМАШИНАХФ (с. 71–82)****В. П. Субботович, О. Ю. Юдін, А. І. Бабаєв, В. С. Бараннік, О. П. Авдєєва**

Об'єктом дослідження є аеродинамічні процеси в міжлопаткових, осьових кільцевих та радіально-осьових каналах турбомашин. Проблема, яка вирішувалась, полягає у необхідності підвищення обчислювальної ефективності розв'язання прямих і обернених аеродинамічних задач під час аналізу та проектування проточних частин турбомашин. Запропоновано обчислювально ефективний метод розв'язання прямих і обернених аеродинамічних задач, який забезпечує прийнятну для інженерної практики точність за суттєво менших обчислювальних витрат порівняно з традиційними CFD-підходами. Результати полягають у розробленні єдиного математичного формулювання на основі рівнянь Ейлера для стисливої рідини, записаних через функцію течії. Запропонований метод дозволяє розглядати прямі та обернені задачі в межах спільної математичної структури. Система рівнянь зведена до одного диференціального рівняння та набору алгебраїчних співвідношень, а глобальна задача течії декомпонується на сукупність незалежних задач для окремих поперечних перерізів. Обернена задача сформульована як задача нелінійної оптимізації на основі умови узгодження масової витрати, отриманої з рівняння енергії. Зменшення обчислювальної складності досягається завдяки використанню функції течії та декомпозиції розрахункової області. Метод поєднує можливості прямого аналізу та відновлення геометрії проточного каналу за заданими аеродинамічними характеристиками. Верифікація за експериментальними даними та результатами прямих розрахунків показала добру узгодженість розподілів швидкостей і відновленої геометрії; максимальні відхилення не перевищували 0,3%. Сферою практичного використання отриманих результатів є попереднє проектування, параметрична оптимізація та обернене проектування проточних частин турбомашин.

**Ключові слова:** обернена задача, функція течії, рівняння Ейлера, квазітривимірна течія, проточна частина, аеродинамічне проектування.