

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.300090

**RESULTS OF THE ANALYTICAL SOLUTION OF THE PROBLEM OF RADIAL VIBRATIONS OF DISKS OF VARIABLE THICKNESS (p. 6–15)****Kirill Trapezon**National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5873-9519>**Alexandr Trapezon**G. S. Pisarenko Institute for Problems of Strength  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8567-9854>**Vitalii Kalinichenko**G. S. Pisarenko Institute for Problems of Strength  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7587-7160>**Vitaliy Didkovskii**National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0807-822X>

An analytical solution is obtained for the problem of radial vibrations of disks of variable thickness. A disk is considered that is rigidly fixed along the inner circular contour ( $\rho=0.2$ ) and free on the outer contour ( $\rho=1$ ). The thickness of the disk varies according to the law  $H=H_0(\rho^{\nu+\mu}+C\rho^{\nu-\mu})^2$ , where  $H_0$ ,  $C$ ,  $\mu$  are arbitrary constants;  $\nu$  is the Poisson's ratio. The exact solution of the problem is known only for  $H=\text{const}$  and  $H=1/\rho^3$ . However, these solutions are not sufficient to study the vibrations of disks of other configurations. The proposed law of thickness variation  $H(\rho)$  allows us to obtain exact solutions to the problem at any value of the constant coefficients  $H_0$ ,  $C$ ,  $\mu$ ,  $\nu$ . By varying the values of these coefficients within a single given function, it is possible to set the disk profile of the desired appearance. The methods used to obtain these solutions are based on appropriate mathematical transformations of the original equation.

The problem of disk oscillations is solved for four variants of thickness change. The natural frequencies for the first three forms of vibration are calculated. Comparison of the natural frequencies found for the three cases of the disk profile gently sloping indicates an increase in their values with an increase in the bending of the disk thickness. Based on the obtained eigenfunctions, the stresses were calculated and the nature of their distribution along the radial coordinate of the disk was determined.

The strength of the disks under resonant radial vibrations was evaluated using a special criterion. It is found that the most limiting, i.e., destructive principal stress  $\sigma_1=\sigma$ , at the first (main) form of vibration should be chosen from the ratio  $\sigma_r\approx 0.79 [\sigma_{-1}]$ , where  $[\sigma_{-1}]$  is the endurance limit of the disk material under uniform loading. The results obtained can be used to predict the stress-strain state of disks of variable profile under their radial vibrations.

**Keywords:** disk of variable thickness, radial vibrations, natural frequencies, waveforms, stresses.

**References**

- Prabith, K., Krishna, I. R. P. (2020). The numerical modeling of rotor–stator rubbing in rotating machinery: a comprehensive review. *Nonlinear Dynamics*, 101 (2), 1317–1363. <https://doi.org/10.1007/s11071-020-05832-y>
- Doshi, S., Katoch, A., Suresh, A., Razak, F. A., Datta, S., Madhavan, S. et al. (2021). A Review on Vibrations in Various Turbomachines such as Fans, Compressors, Turbines and Pumps. *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, 9 (7), 1557–1575. <https://doi.org/10.1007/s42417-021-00313-x>
- Salehian, M., Shahriari, B., Yousefi, M. (2018). Investigating the effect of angular acceleration of the rotating disk having variable thickness and density function on shear stress and tangential displacement. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41 (1). <https://doi.org/10.1007/s40430-018-1523-8>
- Koul, A. K., Dainty, R. V. (2022). Fatigue Fracture of Aircraft Engine Compressor Disks. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 22 (5), 1995–2004. <https://doi.org/10.1007/s11668-022-01516-4>
- Eldeeb, A. M., Shabana, Y. M., El-Sayed, T. A., Elsawaf, A. (2023). A nontraditional method for reducing thermoelastic stresses of variable thickness rotating discs. *Scientific Reports*, 13 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-39878-w>
- Thakur, P., Kumar, N., Gupta, K. (2022). Thermal stress distribution in a hyperbolic disk made of rubber/brass material. *Journal of Rubber Research*, 25 (1), 27–37. <https://doi.org/10.1007/s42464-022-00147-6>
- Takkar, S., Gupta, K., Tiwari, V., Singh, S. P. (2019). Dynamics of Rotating Composite Disc. *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, 7 (6), 629–637. <https://doi.org/10.1007/s42417-019-00155-8>
- Koo, K.-N. (2006). Vibration analysis and critical speeds of polar orthotropic annular disks in rotation. *Composite Structures*, 76 (1-2), 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2006.06.010>
- Yıldırım, V. (2018). Numerical/analytical solutions to the elastic response of arbitrarily functionally graded polar orthotropic rotating discs. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40 (6). <https://doi.org/10.1007/s40430-018-1216-3>
- Kutsal, S. M., Coşkun, S. B. (2023). Analytical approximations for elastic limit angular velocities of rotating annular disks with hyperbolic thickness. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 45 (6). <https://doi.org/10.1007/s40430-023-04132-x>
- Shatalov, M. Y., Joubert, S. V., Peck, A. J. (2020). Axisymmetric and Non-Axisymmetric Vibration of Thin Growing Viscoelastic Disc. *Mechanics of Solids*, 55 (5), 741–759. <https://doi.org/10.3103/s0025654420050179>
- Wang, R., Wang, Q., Guan, X., Zhang, Y., Shao, W. (2021). Coupled free vibration analysis of functionally graded shaft-disk system by differential quadrature finite element method. *The European Physical Journal Plus*, 136 (2). <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-021-01131-6>
- Wu, C., Su, Z., Wang, D., Jiang, H. (2023). Dynamic modeling method for active magnetic bearings-rotor system of steam turbines. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 37 (4), 1665–1673. <https://doi.org/10.1007/s12206-023-0308-x>
- Biezeno, C. B., Grammel, R. (1939). *Technische Dynamik*. Springer Berlin Heidelberg, 1056. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-36257-0>
- Collatz, L. (1963). *Eigenwertaufgaben mit technischen anwendungen*. Akademische Verlagsgesellschaft. Leipzig, 500.
- Kamke, E. (1959). *Differential gleichungen, Lösungsmethoden und losungen*. Leipzig, 244.
- Trapezon, A. G., Lyashenko, B. A. (2016). Fatigue of VT1-0 Titanium Alloy with Vacuum-Plasma Coating Under a Plane Stress State. *Strength of Materials*, 48 (2), 270–278. <https://doi.org/10.1007/s11223-016-9762-3>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302838**  
**DEVELOPMENT OF A GENERAL ALGORITHM FOR SOLVING THE STABILITY PROBLEM OF ANISOTROPIC PLATES (p. 16–23)**

**Shahin Guliyev**

Azerbaijan Technological University,  
Ganja, Azerbaijan

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0005-2317-0963>

**Rizvan Shukurov**

Azerbaijan Technological University,  
Ganja, Azerbaijan

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0001-0705-0946>

**Hajar Huseynzade**

Azerbaijan Technological University,  
Ganja, Azerbaijan

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0002-3059-173X>

**Leila Huseynova**

Azerbaijan Technological University,  
Ganja, Azerbaijan

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0007-3216-5239>

**Aliyar Hasanov**

State Biotechnological University,  
Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3710-9811>

This paper is devoted to the development of general algorithm for solving to the stability problem of anisotropic plates using the additional load discretization method. The study of the stability problem is relevant for all types of structural elements and machine parts, and its importance is especially increasing with respect to anisotropic thin plates. This is due to the fact that with the use of new structures and materials, the material intensity is reduced, the area of application of thin-walled systems with low stiffness, for which the danger of elastic loss of stability increases, and, therefore, the importance and relevance of the theory and methods of practical solution of problems of elastic stability of such structures increases.

In many works, analytical expressions for determination of critical load are given. At present, the determination of critical loads causes great difficulties in their numerical determination. Therefore, the article presents the most effective numerical and analytical solution of this problem.

As a rule, to solve stability problems of anisotropic plates, different representations of the bending deflection function in different rows are used. But the use of such representations is justified only under certain boundary conditions and under the condition of uniformly distributed load. The study described in this paper offers a way to overcome these difficulties, allowing the numerical values of critical forces to be determined without much difficulty. With increasing grid density, the accuracy of the critical load value increases rapidly and with an 8×8 grid, the deviation from the exact solution equal to is 1 %.

From a practical point of view, the discovered mechanism of numerical realization of this problem allows to improve engineering design calculations of stability of anisotropic plates with different conditions on supports and with different loading.

**Keywords:** structural stability, plate stability, plate strength, anisotropic plates, orthotropic plates, discretization method.

#### References

- Alfutov, N. A. (1991). *Osnovy rascheta na ustoychivost' uprugih sistem*. Moscow: Mashinostroyeniye, 336.
- Vol'mir, A. S. (1967). *Ustoychivost' deformiruyemyh sistem*. Moscow: Nauka, 984.
- Vinokurov, L. P., Guliyev, Sh. M. (1980). Diskretizatsiya zadachi ustoychivosti ravnovesiya krivyyh sterzhney proizvol'nogo ochertaniya. *Jurnal Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura*, 9, 76–79.
- Guliyev, Sh. M. (2021). Resheniye nekotoryh zadach ustoychivosti uprugih sistem po metodu diskretizatsii dobrovochnoy nagruzki. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Osnovniye problemy reytinga vuzov"*. Chast' 2. Gyandja, 12–13.
- Guliyev, Sh. M., Shukurov, R. E. (2023). Resheniye zadachi ustoychivosti sterzhney pri uchete kontakta s uprugim osnovaniyem. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Chetvertaya promyshlennaya revolyutsiya i innovativnyye tehnologii"*. Chast' 2. Gyandja, 295–296.
- Oreshko, E. I., Erasov, V. S., Lutsenko, A. N. (2016). Calculation features of cores and plates stability. *Aviation Materials and Technologies*, 4, 74–79. <https://doi.org/10.18577/2071-9140-2016-0-4-74-79>
- Oreshko, E. I., Erasov, V. S., Podjivotov, N. Yu., Lutsenko, A. N. (2016). Raschet na prochnost' gibridnoy paneli kryla na baze listov i profiley iz vysokoprochnogo alyuminiy-litiyevogo splava i sloistogo alyumostekloplastika. *Aviatsionniye materialy i tehnologii*, 1 (40), 53–61.
- Ahajanov, S. B., Myrzabek, D. V. (2020). Raschet na ustoychivost' pryamougol'noy izotropnoy plastiny. *Vestnik Kazhastansko-Britanskogo tehnikeskogo Universiteta*, 17 (3), 113–118.
- Ivanov, S. P., Ivanov, O. G., Ivanova, A. S. (2017). The stability of plates under the action of shearing loads. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 6, 68–73. <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2017-6-68-73>
- Kolpak, E. P., Mal'tseva, L. S. (2015). Ob ustoychivosti szhatyyh plastin. *Molodoy uchenyy*, 14 (94), 1–8. Available at: <https://moluch.ru/archive/94/21188>
- Kolmogorov, G. A., Ziborova, E. O. (2015). Voprosy ustoychivosti anizotropnyh plastin. *Stroitel'naya mehanika inzhenernyh konstruksiy i sooruzheniy*, 2, 63–68.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.301711**  
**DETERMINING THE SHAPE OF A FLEXIBLE THREAD IN THE FIELD OF HORIZONTAL AND VERTICAL FORCES (p. 24–30)**

**Tetiana Volina**

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8610-2208>

**Serhii Pylypaka**

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1496-4615>

**Viktor Nesvidomin**

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1495-1718>

**Mykhailo Kalenyk**

Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko,  
Sumy, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7416-4233>

**Dmytro Spiritsev**

Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University,  
Zaporizhzhia, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5728-6626>

**Serhii Dieniezhnikov**

Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko,  
Sumy, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3289-8399>

**Iryna Hryshchenko**

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1000-9805>

**Alla Rebrii**

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3467-2353>

**Tetiana Herashchenko**

Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko,  
Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5918-2019>

**Viktoriiia Soloshchenko**

Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko,  
Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5888-3796>

In theoretical mechanics, the equilibrium of a flexible, inextensible thread is considered, to which the tension force of its ends and the distributed force of weight along the length of its arc are applied. An unsolved problem is finding the shape of the thread under the action of other distributed forces. This study has considered the equilibrium of a completely flexible thread, to which, in addition to this force, a transverse distributed force is applied. A sail serves as an example. Wind of equal intensity in the plane of the orthogonal section of the sail can be considered a distributed force. The sail can be cut into narrow strips with the same shape of the curves of the cross-section, which are equal to the cross-section of the sail as a whole. The theory of flexible thread is applied in the current study. The task is reduced to finding the curve of the cross-section of the sail.

The object of research is the formation of a cylindrical surface from a flexible thread under the action of distributed forces applied to it.

An important characteristic of the shape of a flexible thread is its curvature. Its dependence on the length of the arc was found and it was established that the found curve is a chain line (catenary). This is the feature of the current research and its distinguishing characteristics. The significance of the results stems from the derived analytical dependences, according to which the change in the ratio between the distributed forces acting on the flexible thread deforms it, but it retains the shape of the catenary. At the same time, the angle of deviation of its axis of symmetry from the vertical changes. In the absence of a horizontal distributed force and the presence of only a distributed force of weight, the axis of symmetry of the chain line is directed vertically – at an angle of 90° to the horizontal. If they are equal, this angle is 45°. Scope of application includes structures with stretched supporting wires, conveyor belts, flexible suspended ceilings, the shape of which can be calculated by using our results.

**Keywords:** chain line, curvature, axis of symmetry, angle of inclination, inextensible thread.

**References**

1. Khamrayeva, S., Kadirova, D., Rakhimkhodjayev, S. (2021). Study on the mechanics of textile thread in woven. E3S Web of Conferences, 304, 03035. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130403035>
2. Kyriia, R. V., Larionov, H. I., Larionov, M. H. (2019). Mathematical model of the stress-strain state of belt with the load of tubular belt conveyer. System Technologies, 3 (122), 42–54. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-3-122-2019-06>
3. Scheidl, J., Vetyukov, Y. (2023). Review and perspectives in applied mechanics of axially moving flexible structures. Acta Mechanica, 234 (4), 1331–1364. <https://doi.org/10.1007/s00707-023-03514-5>
4. Mohammad Karim, A. (2022). A review of physics of moving contact line dynamics models and its applications in interfacial science. Journal of Applied Physics, 132 (8). <https://doi.org/10.1063/5.0102028>
5. Diaz, M. E., Cerro, R. L. (2021). A general solution of dewetting flow with a moving contact line. Physics of Fluids, 33 (10). <https://doi.org/10.1063/5.0065168>
6. Loveikin, V., Romasevych, Y., Kadykalo, I. (2023). Dynamic analysis of the joint movement of the hoisting and slewing mechanisms of a boom crane. Machinery & Energetics, 14 (4), 75–85. <https://doi.org/10.31548/machinery/4.2023.75>
7. Romasevych, Y., Hubar, Y. (2023). Propeller thrust tower crane slewing mechanism model identification. Machinery & Energetics, 14 (3), 72–78. <https://doi.org/10.31548/machinery/3.2023.72>
8. Pylypaka, S., Zaharova, T., Zalevska, O., Kozlov, D., Podluniaieva, O. (2020). Determination of the Effort for Flexible Strip Pushing on the Surface of a Horizontal Cylinder. Advanced Manufacturing Processes, 582–590. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-40724-7\\_59](https://doi.org/10.1007/978-3-030-40724-7_59)
9. Kozachenko, O., Syedykh, K., Shkrehal, O. (2021). Mathematical modeling of stability of mechanical system of discator. Machinery & Energetics, 12 (4). <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.04.061>
10. Dwivedi, R. K., Jain, V., Muralidhar, K. (2022). Dynamic contact angle model for resolving low-viscosity droplet oscillations during spreading over a surface with varying wettability. Physical Review Fluids, 7 (3). <https://doi.org/10.1103/physrevfluids.7.034002>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302795

### IDENTIFYING THE EFFECT OF THICKNESS ON CRACK WIDTH IN ONE-WAY REINFORCED CONCRETE SLAB STRUCTURES (p. 31–37)

**Bhondana Bayu Brahmana Kridaningrat**

Brawijaya University,  
Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1324-0021>

**Agoes Soehardjono**

Brawijaya University,  
Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6172-4457>

**Wisnumurti**

Brawijaya University,  
Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2939-2170>

**Devi Nuralinah**

Brawijaya University,  
Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4236-2492>

This paper presents an evaluation study of crack limit states according to design codes and previous research. It aims primarily to relate research findings to design code similarities. Cracks in reinforced concrete structures are still a challenging problem for researchers, especially in one-way plate structures where there is still a lot of damage and corrosion in the reinforcement due to cracks. Finding the right formula will make it easier for practitioners to design these structures, and the problem of durability in reinforced concrete plates can be overcome. From this research, an approach is proposed on how to predict the maximum crack width formula in one-way reinforced concrete slabs with different thicknesses. Plates use a variety of thicknesses, including 125 mm, 150 mm, 175 mm, and 200 mm. The test specimens have the same dimensions and steel reinforcement, a slab width of 0.6 m and a length of 2 m. From a literature study of prediction formulas from previous research works and codes, namely  $w_{\max(\text{prop})} = 7.5 \cdot 10^{-3} f_s h^{-0.333}$ , it was found that thickness (h) has little influence on maximum

crack width. The results from both approaches in this analysis are overall in accordance with the observed experimental tests and the proposed formula. Based on these observations, increasing the thickness of the reinforced concrete slab has significantly reduced the maximum crack width so that the experimental formula is obtained, namely  $w_{\max(\text{exp})} = 0.32 \cdot f_s \cdot h^{-1.113}$ . Therefore, a constant is needed to evaluate the influence of thickness parameters for slabs with a thickness less than 200 mm on the maximum crack width formula for reinforced concrete slabs, and a special approximation formula has been obtained. In practical use, the crack width formula can only be used for one-way slabs.

**Keywords:** flexural crack width, one-way slab, reinforced concrete, slab thickness.

### References

- Włodarczyk, M., Lutomińska, M., Duc, D. T. (2019). Analytical and Experimental Investigations of Crack width for RC Beams in Bending. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 661 (1), 012076. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/661/1/012076>
- Golewski, G. L. (2023). The Phenomenon of Cracking in Cement Concretes and Reinforced Concrete Structures: The Mechanism of Cracks Formation, Causes of Their Initiation, Types and Places of Occurrence, and Methods of Detection – A Review. Buildings, 13 (3), 765. <https://doi.org/10.3390/buildings13030765>
- Kanavaris, E., Coelho, M., Ferreira, N., Azenha, M., Andrade, C. (2023). A review on the effects of cracking and crack width on corrosion of reinforcement in concrete. Structural Concrete, 24 (6), 7272–7294. <https://doi.org/10.1002/suco.202300227>
- Naotunna, C. N., Samarakoon, S. M. S. M. K., Fosså, K. T. (2021). Applicability of Existing Crack Controlling Criteria for Structures with Large Concrete Cover Thickness. Nordic Concrete Research, 64 (1), 69–91. <https://doi.org/10.2478/ncr-2021-0002>
- Schlicke, D., Dorfmann, E. M., Fehling, E., Tue, N. V. (2021). Calculation of maximum crack width for practical design of reinforced concrete. Civil Engineering Design, 3 (3), 45–61. <https://doi.org/10.1002/cend.202100004>
- García, R., Pérez Caldentey, A. (2020). Influence of type of loading (tension or bending) on cracking behaviour of reinforced concrete elements. Experimental study. Engineering Structures, 222, 111134. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111134>
- Naotunna, C., Samarakoon, S., Fosså, K. (2020). Identification of the Influence of Concrete Cover Thickness and  $\sigma/\rho$  Parameter on Crack Spacing. XV International Conference on Durability of Building Materials and Components. EBook of Proceedings. <https://doi.org/10.23967/dbmc.2020.076>
- Gomes, J., Carvalho, R., Sousa, C., Granja, J., Faria, R., Schlicke, D., Azenha, M. (2020). 3D numerical simulation of the cracking behaviour of a RC one-way slab under the combined effect of thermal, shrinkage and external loads. Engineering Structures, 212, 110493. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110493>
- Pérez Caldentey, A., García, R., Gribniak, V., Rimkus, A. (2020). Tension versus flexure: Reasons to modify the formulation of MC 2010 for cracking. Structural Concrete, 21 (5), 2101–2123. <https://doi.org/10.1002/suco.202000279>
- Kaklauskas, G., Sokolov, A., Sakalauskas, K. (2023). Strain compliance crack model for RC beams: primary versus secondary cracks. Engineering Structures, 281, 115770. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.115770>
- Naotunna, C. N., Samarakoon, S. M. S. M. K., Fosså, K. T. (2021). Experimental investigation of crack width variation along the concrete cover depth in reinforced concrete specimens with ribbed bars and smooth bars. Case Studies in Construction Materials, 15, e00593. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00593>
- Wisnumurti, W., Soehardjono, A., Simatupang, R. M. (2024). Effect of variations in concrete quality on the crack width in rigid pavement. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (1 (127)), 33–40. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298680>
- Ningrum, D., Soehardjono, A., Suseno, H., Wibowo, A. (2024). Identifying the influence of split tensile strength to crack width of high-strength reinforced concrete beam with polypropylene fiber from medical mask waste. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (7 (127)), 14–21. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298842>
- Marzouk, H., Hossin, M., Hussein, A. (2010). Crack Width Estimation for Concrete Plates. ACI Structural Journal, 107 (03). <https://doi.org/10.14359/51663693>
- ACI 318-95/ACI 318R-95 (1995). Building code requirements for structural concrete and commentary. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- AS 3600 Reinforced Concrete Design (2009). Cement Concrete and Aggregates Australia and standards Australia.
- Standard specifications for concrete structures-2007, design (2010). JSCE Guidelines for Concrete No. 15 Tokyo: Japan Society of Civil Engineers. Available at: [https://www.jsce-int.org/system/files/JGC15\\_Standard\\_Specifications\\_Design\\_1.0.pdf](https://www.jsce-int.org/system/files/JGC15_Standard_Specifications_Design_1.0.pdf)
- fib Model Code for Concrete Structures 2010 (2013). Fédération Internationale Du Béton/International Federation for Structural Concrete (fib). <https://doi.org/10.1002/9783433604090>
- Eurocode 2 EN 1992-1-1. Design of concrete structures. Part 1-1: General Rules and Rules of Buildings (1991). Brussel: European Committee for Standardization.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299537

### SITUATIONAL ADAPTATION OF THE MODEL 13-7024 FLAT CAR FOR TRANSPORTING STRATEGIC CARGO (p. 38–46)

**Alyona Lovska**

Ukrainian State University of Railway Transport,  
Kharkiv, Ukraine

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

**Volodymyr Nerubatskyi**

Ukrainian State University of Railway Transport,  
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4309-601X>

**Oleksandr Plakhtii**

Ukrainian State University of Railway Transport,  
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1535-8991>

**Sergiy Myamlin**

Ukrainian State University of Railway Transport,  
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9204-4435>

The object of research is the processes of occurrence, perception, and redistribution of loads in the structure of a removable module for the situational adaptation of the flat car, model 13-7024, to the transportation of strategic cargoes.

In order to transport strategic cargoes, including military equipment, agricultural machines, etc., the use of a removable module is proposed on the flat car. Appropriate calculations were performed to determine parameters for the structural components of the removable module. At the same time, the profile of the frame was determined by the value of the maximum bending moment acting in its cross-section. The thickness of the sheet, which forms a horizontal plane for placing the load, was calculated according to the Bub-

nov–Galyorkin method. To substantiate the determined parameters of the structural components of the removable module, its strength was calculated. The calculation results showed that the strength of the removable module under the considered operating load schemes is ensured.

A feature of the research results is that the use of the proposed structure of the removable module makes it possible to expand the range of goods transported by flat cars without improving them.

The field of practical use of the results is the engineering industry, in particular, railroad transport. The conditions for the practical application of the research results are the use of variable height fittings in the removable module.

Our studies will contribute to devising the recommendations for increasing the efficiency of the operation of flat cars through their situational adaptation to the transportation of strategic cargoes. In add, the results could prove useful for the construction of modern structures of modular vehicles.

**Keywords:** railroad transport, flat car, situational adaptation of the car, removable module, loading capacity of the removable module.

## References

- Rybicka, I., Caban, J., Vrabel, J., Sarkan, B., Stopka, O., Misztal, W. (2018). Analysis of the safety systems damage on the example of a suburban transport enterprise. 2018 XI International Science-Technical Conference Automotive Safety. <https://doi.org/10.1109/autosafe.2018.8373323>
- Dižo, J. (2016). Analysis of a Goods Wagon Running on a Railway Test Track. *Manufacturing Technology*, 16 (4), 667–672. <https://doi.org/10.21062/ujep/x.2016/a/1213-2489/mt/16/4/667>
- Dižo, J., Blatnický, M., Steišūnas, S., Skočilasová, B. (2018). Assessment of a rail vehicle running with the damaged wheel on a ride comfort for passengers. *MATEC Web of Conferences*, 157, 03004. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815703004>
- Dizo, J., Blatnický, M., Harusinec, J., Falendysh, A. (2018). Modification and analyses of structural properties of a goods wagon bogie frame. *Diagnostyka*, 20 (1), 41–48. <https://doi.org/10.29354/diag/99853>
- Caban, J., Nieoczym, A., Gardyński, L. (2021). Strength analysis of a container semi-truck frame. *Engineering Failure Analysis*, 127, 105487. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105487>
- Suprianto, T., Syaifudin, A., Pamungkas, L. W., Ariatedja, J. B., Farid, A. R. (2023). Effect of Fluctuating Load on Fatigue of PPCW Flat Wagon. *The International Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 7 (1), 26. <https://doi.org/10.12962/j25807471.v7i1.14354>
- Krason, W., Niezgoda, T. (2014). FE numerical tests of railway wagon for intermodal transport according to PN-EU standards. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, 62 (4), 843–851. <https://doi.org/10.2478/bpasts-2014-0093>
- Fabian, P., Gerlici, J., Masek, J., Marton, P. (2013). Versatile, Efficient and Long Wagon for Intermodal Transport in Europe. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 15 (2), 118–123. <https://doi.org/10.26552/com.c.2013.2.118-123>
- Šťastniak, P., Kurčík, P., Pavlík, A. (2018). Design of a new railway wagon for intermodal transport with the adaptable loading platform. *MATEC Web of Conferences*, 235, 00030. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823500030>
- Kel'rich, M., Fedosov-Nikonov, D. (2016). The strength research of the long-wheelbase flatcar construction. *Visnyk Skhidnoukrainskoho Natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*, 1 (225), 90–94. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VISUNU\\_2016\\_1\\_19](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VISUNU_2016_1_19)
- Das, A., Agarwal, G. (2020). Investigation of Torsional Stability and Camber Test on a Meter Gauge Flat Wagon. *Advances in Fluid Mechanics and Solid Mechanics*, 271–280. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-0772-4\\_24](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0772-4_24)
- Vatulia, G., Lovska, A., Pavliuchenkov, M., Nerubatskyi, V., Okorokov, A., Hordiienko, D. et al. (2022). Determining patterns of vertical load on the prototype of a removable module for long-size cargoes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (120)), 21–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266855>
- 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. <https://doi.org/10.3390/app13010079>
- Nandan, S., Trivedi, R., Kant, S., Ahmad, J., Maniraj, M. (2020). Design, analysis and prototype development of railway wagons on different loading conditions. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 04 (10), 122–129. <https://doi.org/10.33564/ijeast.2020.v04i10.023>
- 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. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/664/1/012026>
- Barabash, M. S., Soroka, M. M., Surianinov, M. H. (2018). *Nelineynna budivselna mekhanika z PK Lira – SAPR*. Odesa: Ekolohiia, 248.
- Koziar, M. M., Feshchuk, Yu. V., Parfeniuk, O. V. (2018). *Kompiuterna hrafika: SolidWorks*. Kherson: Oldi-plius, 252. Available at: <https://ep3.nuwm.edu.ua/22175/1/Комп%27ютерна%20графіка.pdf>
- Pustiulha, S. I., Samostian, V. R., Klak, Yu. V. (2018). *Inzhenerna hrafika v SolidWorks*. Lutsk: Vezha, 172. Available at: <https://lib.lntu.edu.ua/sites/default/files/2021-02/Інженерна%20графіка%20в%20SolidWorks.pdf>
- Nerubatskyi, V. P., Plakhtii, O. A., Hordiienko, D. A., Khoruzhevskyi, H. A. (2023). Study of the energy parameters of the system “solar panels – solar inverter – electric network.” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1254 (1), 012092. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012092>
- Nerubatskyi, V., Hordiienko, D. (2023). Study of the Influence of Sliding Mode Regulator on Spectrum Higher Harmonics of the SEP-IC Converter. 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES). <https://doi.org/10.1109/mees61502.2023.10402454>
- Vatulia, G., Lovska, A., Myamlin, S., Rybin, A., Nerubatskyi, V., Hordiienko, D. (2023). Determining patterns in loading the body of a gondola with side wall cladding made from corrugated sheets under operating modes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (122)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.275547>
- Shvabiuk, V. I. (2016). *Opir materialiv*. Kyiv: Znannia, 400.
- Kutsenko, A., Bondar, M., Chaousov, M. (2019). *Prykladna mekhanika (opir materialiv)*. Kyiv: Tsentr navchalnoi literatury, 736.
- Siasiev, A. V. (2007). *Dyferentsialni rivniannia*. Dnipropetrovsk: Vyd-vo DNU, 356.
- Panchenko, S., Gerlici, J., Vatulia, G., Lovska, A., Rybin, A., Kravchenko, O. (2023). Strength Assessment of an Improved Design of a Tank Container under Operating Conditions. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 25 (3), B186–B193. <https://doi.org/10.26552/com.c.2023.047>
- Domin, Yu. V., Cherniak, H. Yu. (2003). *Osnovy dynamiky vakhoniv*. Kyiv: KUETT, 269.
- Vatulia, G., Lovska, A., Myamlin, S., Stanovska, I., Holofieieva, M., Horobets, V. et al. (2023). Revealing the effect of structural components made of sandwich panels on loading the container transported by railroad. *Eastern-European Journal of*

Enterprise Technologies, 1 (7 (121)), 48–56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.272316>

28. 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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265043>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302879**

**IDENTIFYING SOME REGULARITIES OF THE TURBULENT STEADY-STATE PLANE-PARALLEL MOTION OF INCOMPRESSIBLE FLUID AT THE ENTRANCE LENGTH (p. 47–55)**

**Arestak Sarukhanyan**

National University of Architecture and Construction of Armenia,  
Yerevan, Armenia

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4928-9960>

**Garnik Vermishyan**

National University of Architecture and Construction of Armenia,  
Yerevan, Armenia

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8524-5899>

**Hovhannes Kelejyan**

National University of Architecture and Construction of Armenia,  
Yerevan, Armenia

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1578-0786>

**Armine Gevorgyan**

National University of Architecture and Construction of Armenia,  
Yerevan, Armenia

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0000-0400-5608>

This paper investigates the structural changes in the turbulent motion of an incompressible fluid in the hydrodynamic entrance region of plane-parallel pressure motion. Movement in pressure hydromechanical systems usually occurs in a turbulent regime. Studying the patterns of changes in hydrodynamic parameters under conditions of stationary turbulent pressure motion in the inlet region is a very urgent task. The study was carried out on the basis of boundary layer equations. Taking into account the dependence of changes in the kinematic viscosity coefficient that occur between layers of fluid, a boundary value problem was formed. Analytical solutions have been obtained that make it possible to obtain patterns of changes in velocity and pressure in any effective flow section. Based on the general conclusions of the study, solutions were found for two cases:

a) the velocity of the fluid entering the cylindrical pipe is constant;

b) the velocity of the incoming fluid has a parabolic distribution.

For these cases, using computer analysis of the data obtained, general graphs of velocity changes were constructed in various sections along the hydrodynamic entrance region. These graphs, which display the change in velocity along the entire length of the inlet, make it possible to obtain the velocity of fluid movement at any point along the inlet length and estimate the length of the transition zone. The results obtained are among the least studied issues of classical fluid mechanics and are of important theoretical interest. The results obtained are applicable for the correct construction of the hydrodynamic entrance region of machinery. A calculation formula has been obtained to determine the length of the hydrodynamic inlet region.

**Keywords:** plane-parallel motion, hydrodynamic entrance region, turbulent motion, viscous fluid, velocity distribution.

**References**

- Targ, S. M. (1951). Fundamental Problems of Theory of Laminar Flows. Moscow: QITTL, 400.
- Sarukhanyan, A., Vardanyan, Y., Baljyan, P., Vermishyan, G. (2023). Pattern identification of the non-stationary laminar flow of a viscous fluid in the round pipe inlet section. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (7 (122)), 33–42. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.278001>
- Sarukhanyan, A., Vartanyan, A., Vermishyan, G., Tokmajyan, V. (2020). The Study of Hydrodynamic Processes Occurring on Transition of Sudden Expanding of Hydraulic Section of Plane – Parallel Full Pipe Flow. TEM Journal, 9 (4), 1494–1501. <https://doi.org/10.18421/tem94-23>
- Sarukhanyan, A., Vermishyan, G., Kelejyan, H. (2023). Plane-Parallel Laminar Flow of Viscous Fluid in the Transition Zone of the Inlet Section. Journal of Architectural and Engineering Research, 4, 75–85. <https://doi.org/10.54338/27382656-2023.4-008>
- Atabek, H. B., Chang, C. C. (1961). Oscillatory flow near the entry of a circular tube. Zeitschrift Für Angewandte Mathematik Und Physik ZAMP, 12 (3), 185–201. <https://doi.org/10.1007/bf01592332>
- Atabek, H. B., Chang, C. C., Fingerson, L. M. (1964). Measurement of Laminar Oscillatory Flow in the Inlet Length of a Circular Tube. Physics in Medicine and Biology, 9 (2), 219–227. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/9/2/309>
- Avula, X. J. R. (1969). Analysis of suddenly started laminar flow in the entrance region of a circular tube. Applied Scientific Research, 21 (1), 248–259. <https://doi.org/10.1007/bf00411611>
- Crane, C. M. (1974). A new method for the numerical solution of time dependent viscous flow. Applied Scientific Research, 30 (1), 47–77. <https://doi.org/10.1007/bf00385775>
- Urbanowicz, K., Firkowski, M., Bergant, A. (2018). Comparing analytical solutions for unsteady laminar pipe flow. Conference: BHR Pressure Surges 2018. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/329759824\\_Comparing\\_analytical\\_solutions\\_for\\_unsteady\\_laminar\\_pipe\\_flow](https://www.researchgate.net/publication/329759824_Comparing_analytical_solutions_for_unsteady_laminar_pipe_flow)
- Vardy, A. E., Brown, J. M. B. (2010). Laminar pipe flow with time-dependent viscosity. Journal of Hydroinformatics, 13 (4), 729–740. <https://doi.org/10.2166/hydro.2010.073>
- Daprà, I., Scarpi, G. (2017). Unsteady Flow of Fluids With Arbitrarily Time-Dependent Rheological Behavior. Journal of Fluids Engineering, 139 (5). <https://doi.org/10.1115/1.4035637>
- Kannaiyan, A., Natarajan, S., Vinoth, B. R. (2022). Stability of a laminar pipe flow subjected to a step-like increase in the flow rate. Physics of Fluids, 34 (6). <https://doi.org/10.1063/5.0090337>
- Rocha, G. N., Poole, R. J., Oliveira, P. J. (2007). Bifurcation phenomena in viscoelastic flows through a symmetric 1:4 expansion. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 141 (1), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.jnnfm.2006.08.008>
- Mullin, T., Seddon, J. R. T., Mantle, M. D., Sederman, A. J. (2009). Bifurcation phenomena in the flow through a sudden expansion in a circular pipe. Physics of Fluids, 21 (1). <https://doi.org/10.1063/1.3065482>
- Hawa, T., Rusak, Z. (2000). Viscous flow in a slightly asymmetric channel with a sudden expansion. Physics of Fluids, 12 (9), 2257–2267. <https://doi.org/10.1063/1.1287610>
- Fester, V., Mbiya, B., Slatter, P. (2008). Energy losses of non-Newtonian fluids in sudden pipe contractions. Chemical Engineering Journal, 145 (1), 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.03.003>
- Chen, X., Hussain, F., She, Z.-S. (2018). Quantifying wall turbulence via a symmetry approach. Part 2. Reynolds stresses. Journal of Fluid Mechanics, 850, 401–438. <https://doi.org/10.1017/jfm.2018.405>
- Baidya, R., Philip, J., Hutchins, N., Monty, J. P., Marusic, I. (2017). Distance-from-the-wall scaling of turbulent motions in

wall-bounded flows. *Physics of Fluids*, 29 (2). <https://doi.org/10.1063/1.4974354>

19. Liu, L., Gadde, S. N., Stevens, R. J. A. M. (2021). Universal Wind Profile for Conventionally Neutral Atmospheric Boundary Layers. *Physical Review Letters*, 126 (10). <https://doi.org/10.1103/physrevlett.126.104502>
20. Sun, B. (2019). Thirty years of turbulence study in China. *Applied Mathematics and Mechanics*, 40 (2), 193–214. <https://doi.org/10.1007/s10483-019-2427-9>
21. Luchini, P. (2017). Universality of the Turbulent Velocity Profile. *Physical Review Letters*, 118 (22). <https://doi.org/10.1103/physrevlett.118.224501>
22. Loicicanski, L. G. (2003). *Mechanics of Fluids and Gases*. Moscow: Drofa, 840.
23. Schlichting, H., Gersten, K. (2017). *Boundary-Layer Theory*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-52919-5>
24. Tikhonov, A. N., Samarski, A. G. (1999). *Equations of Mathematical Physics*. Moscow: Nauka, 799.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.300648**

**DETERMINING THE MECHANISM FOR CALCULATING THE TENSION OF A WORKING CONVEYOR BELT DURING A CHANGE IN THE TRANSPORTATION LENGTH (p. 56–66)**

**Alexandr Gavryukov**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6377-4180>

**Mykhailo Kolesnikov**

National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0006-4892-2153>

**Andrii Zapryvoda**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9171-9325>

**Vadym Lutsenko**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9727-5574>

**Olga Bondarchuk**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1893-1893>

This paper examines the working process of a belt conveyor with a working drive that can change the length of transportation. The conveyor can be used for tunneling, development of minerals in mines and quarries, transportation of materials in warehouses. The use of such a conveyor makes it possible to reduce the time for operations to increase or decrease the length of transportation, to exclude reloaders between the working equipment and conveyor itself from the transport chain.

It was established that when changing the length of transportation of a working conveyor, the static and dynamic load on the belt increases. The change in the static load of the belt on the drum of the mobile station depends on the speed of the mobile station and the speed of the belt generated by the conveyor drive. The dynamic loading on the belt depends on the acceleration of the belt, which is related to the acceleration of the mobile station during the change in the length of the conveyor.

For a working conveyor that changes the length of transportation, the static tension of the belt on the drum of the mobile station can increase by 1.1–1.4 times from the initial one. The dynamic loading of the belt can have a significant increase if the acceleration of the mobile station is not stretched over time and acquires large values.

Based on the dependences derived in the current work, a calculation procedure is proposed for the design of a belt conveyor with a working drive that can change the length of transportation.

The Mathcad software was applied to verify the design calculation procedure.

The results make it possible to employ new design methods in the construction of competitive machines equipped with a belt conveyor with a variable length of transportation.

**Keywords:** belt conveyor, software, design, belt tension, theoretical studies.

**References**

1. Allekotte, K., Schmidt, H. (2001). Entwicklung von längen veränderlichen Gurtförderern. *Gluckauf*, 12.
2. Kiktev, N. (2015). Software for calculation of belt conveyors at their computer-aided design. *Technology Audit and Production Reserves*, 5 (2 (25)), 16. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.51784>
3. Fimbinger, E. (2019). Methodology for the Simulation of Conveyor Belts Using the Discrete Element Method. Available at: [https://www.nafems.org/publications/resource\\_center/nwc\\_19\\_327/](https://www.nafems.org/publications/resource_center/nwc_19_327/)
4. Fimbinger, E. (2021). A Methodology for Dynamic Belt Simulation. *Dipl. Leoben*, 326. <https://doi.org/10.34901/mul.pub.2021.3>
5. Wang, X., Mu, D. (2019). Dynamic model research and intelligent system development of belt conveyor. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 493, 012101. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/493/1/012101>
6. Karolewski, B., Ligocki, P. (2014). Modelling of long belt conveyors. *Eksplotacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 16 (2), 179–187. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/284152070\\_Modelling\\_of\\_long\\_belt\\_conveyors](https://www.researchgate.net/publication/284152070_Modelling_of_long_belt_conveyors)
7. Gerdemeli, İ., Kurt, S., Dayan, E. T. (2014). Belt conveyor design and analysis. *Scientific proceedings xi international congress “Machines, Technologies, Materials”*. Available at: <https://mtmcongress.com/proceedings/2014/1/13.BELT%20CONVEYOR%20DESIGN%20AND%20ANALYSIS.pdf>
8. Zeng, F., Yan, C., Wu, Q., Wang, T. (2020). Dynamic Behaviour of a Conveyor Belt Considering Non-Uniform Bulk Material Distribution for Speed Control. *Applied Sciences*, 10 (13), 4436. <https://doi.org/10.3390/app10134436>
9. Wang, L., Li, H., Huang, J., Zeng, J., Tang, L., Wu, W., Luo, Y. (2023). Research on and Design of an Electric Drive Automatic Control System for Mine Belt Conveyors. *Processes*, 11 (6), 1762. <https://doi.org/10.3390/pr11061762>
10. He, D., Pang, Y., Lodewijks, G. (2016). Speed control of belt conveyors during transient operation. *Powder Technology*, 301, 622–631. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.07.004>
11. Gavryukov, A. V., Tretyak, A. V. (2014). Matematicheskaya model protsessa rasprostraneniya uprugih deformatsiy, v lente konveyera s izmenyayushcheysya dlinoy transportirovaniya. *Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Seriya «Hirnycho-elektromekhanichna»*, 1 (27), 41–77.
12. Tretyak, A. V. (2013). Eksperimental'nye issledovaniya dinamicheskoy nagruzhennosti lenty konveyera s izmenyayushcheysya dlinoy transportirovaniya v protsesse ego udlineniya. *Naukovi pratsi DNTU*, 1 (25), 191200.
13. Gavryukov, A. V. (2007). Teoriya i praktika ispol'zovaniya lentochnyh konveyerov, rabotayushchih pri izmenyayushcheysya dline. *Makeevka: DonNASA*, 119.

14. Shahmeyer, L. G., Dmitriev, V. G. (1987). *Teoriya i raschet lentochnyh konveyerov*. Moscow: Mashinostroenie, 336.
15. Leskevich, V. I., Smirnov, V. K., Krot, V. P., Kashcheev, I. I. (1970). *Mekhanicheskie svoystva konveyernykh lent iz sinteticheskogo volokna*. *Voprosy rudnichnogo transporta*, 11, 117123.
16. Gavryukov, A. V. (2001). *Primenenie lentochnogo konveyera, rabotayushchego pri izmenyayushcheysya dline*. *Mekhanizatsiya stroitel'stva*, 6, 1516.
17. Gavryukov, O. V. (2019). Use of tubular belt conveyor operating with changeable length of transportation for conduct of tunnels. *Naukovij Zhurnal «Tehnika Ta Energetika»*, 10 (4), 151–155. <https://doi.org/10.31548/machenergy2019.04.151>
18. Gavryukov, A. V. (2006). *Rotornyy ekskavator poperechnogo kopaniya s teleskopicheskoy streloy*. *Progressivnye tehnologii i sistemy mashinostroeniya: Mezhdunarodnyy zbornik nauchnykh trudov*, 32, 6974.
19. Havriukov, O. V. (2008). Pat. No. 88392 UA. *Rotornyy ekskavator poperechnoho kopannya z teleskopichnoiu striloiu*. No. a200801569; declared: 07.02.2008; published: 12.10.2009, Bul. No. 19. Available at: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=137092&chapter=biblio>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302792**  
**CONSTRUCTION OF MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELS FOR CALCULATING CONTACT CHARACTERISTICS OF INTERACTION BETWEEN A RIGID PUNCH AND AN ELASTIC HALF-SPACE (p. 67–78)**

**Tetyana Zaytseva**

Oles Honchar Dnipro National University,  
Dnipro, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6346-3390>

**Vladyslav Zhushman**

Oles Honchar Dnipro National University,  
Dnipro, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0000-7292-5879>

The subject of this study is a punch-elastic half-space system under compressive force. The paper solves the problem of determining contact stresses and displacements. The content of results is the constructed models and the assessment of their adequacy.

This work considers the problem of pressing a rigid plane double-connected punch on a homogeneous and isotropic elastic half-space. To obtain an analytical solution, a variant of the perturbation method based on the expansion of the potential of a simple layer distributed over a double-connected region by a small parameter was applied. The problem of pressing a flat punch in the form of a non-circular ring is reduced to a sequence of problems for a punch in the form of a circular ring. This allows us to use a known solution for a circular ring.

Finite element models were built using ANSYS. A group of models was constructed to take into account possible damage in the event that the punch-elastic half-space system is exposed to difficult natural conditions or an aggressive environment during a certain time of modeling. A database was formed for the purpose of further transferring it to CLIPS. Sets of rules and knowledge were compiled.

A generalizing algorithm was developed for the problems of constructing and analyzing mathematical and computer models of contact interaction between a rigid cylindrical punch with a flat double-connected base with an elastic half-space under the action of a compressive force. The problem of determining the geometric shape of the cross-section of an annular punch in the plan for the

punch-elastic half-space system was solved for the case when the contact zone is not known in advance. The devised approach could be employed in engineering calculations for strength and durability.

**Keywords:** spatial contact problem, analytical solution, finite-element method, ANSYS, CLIPS.

**References**

1. Liu, W. K., Li, S., Park, H. S. (2022). Eighty Years of the Finite Element Method: Birth, Evolution, and Future. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29 (6), 4431–4453. <https://doi.org/10.1007/s11831-022-09740-9>
2. Yilmaz, K. B., Comez, I., Yildirim, B., Güler, M. A., El-Borgi, S. (2018). Frictional receding contact problem for a graded bilayer system indented by a rigid punch. *International Journal of Mechanical Sciences*, 141, 127–142. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2018.03.041>
3. Bonari, J., Marulli, M. R., Hagemeyer, N., Mayr, M., Popp, A., Paggi, M. (2019). A multi-scale FEM-BEM formulation for contact mechanics between rough surfaces. *Computational Mechanics*, 65 (3), 731–749. <https://doi.org/10.1007/s00466-019-01791-3>
4. Gladwell, G. M. L. (Eds.) (2008). *Contact Problems – the legacy of L. A. Galin*. Springer, 318. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9043-1>
5. Loboda, V., Shevelova, N., Khodanenko, T., Lapusta, Y. (2022). An interaction of electrically conductive and electrically permeable collinear cracks in the interface of piezoelectric materials. *Archive of Applied Mechanics*, 92 (5), 1465–1480. <https://doi.org/10.1007/s00419-022-02123-3>
6. Guz, A. N., Zozulya, V. V. (2002). Elastodynamic unilateral contact problems with friction for bodies with crack. *International Applied Mechanics*, 38 (8), 895–932. <https://doi.org/10.1023/a:1021266113662>
7. Myshkin, N. K., Goryacheva, I. G., Grigoriev, A. Ya., Kavaliyova, I. N., Makhovskaya, Yu. Yu. (2020). Contact Interaction in Precision Tribosystems. *Journal of Friction and Wear*, 41 (3), 191–197. <https://doi.org/10.3103/s1068366620030113>
8. Li, B., Li, P., Zhou, R., Feng, X.-Q., Zhou, K. (2022). Contact mechanics in tribological and contact damage-related problems: A review. *Tribology International*, 171, 107534. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2022.107534>
9. Roitman, A. B., Shishkanova, S. F. (1973). The solution of the annular punch problem with the aid of recursion relations. *Soviet Applied Mechanics*, 9 (7), 725–729. <https://doi.org/10.1007/bf00882996>
10. Shishkanova, S. F. (1990). Stress state of an elastic half-space weakened by a plane crack which is close to being annular. *Soviet Applied Mechanics*, 26 (5), 430–435. <https://doi.org/10.1007/bf00887257>
11. Shyshkanova, G., Zaytseva, T., Frydman, O. (2015). The analysis of manufacturing errors effect on contact stresses distribution under the ring parts deformed asymmetrically. *Metallurgical and Mining Industry*, 7, 352–357. Available at: [https://www.metalljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI\\_2015\\_7/055Shyshkanova-352-357.pdf](https://www.metalljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_7/055Shyshkanova-352-357.pdf)
12. Shyshkanova, G. (2018). About Stability of First Kind Equation Solving. 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC). <https://doi.org/10.1109/saic.2018.8516805>
13. Babich, S. Yu., Guz, A. N., Rudnitskii, V. B. (2004). Contact Problems for Prestressed Elastic Bodies and Rigid and Elastic Punches. *International Applied Mechanics*, 40 (7), 744–765. <https://doi.org/10.1023/b:inam.0000046219.34646.4e>
14. Babych, S. Yu., Yarets'ka, N. O. (2021). Contact Problem for an Elastic Ring Punch and a Half-Space with Initial (Residual) Stresses\*. *International Applied Mechanics*, 57 (3), 297–305. <https://doi.org/10.1007/s10778-021-01081-7>



15. Yarets'ka, N. (2023). Contact Problems for Cylindrical Stamps and Elastic Bodies with Initial (Residual) Stresses. *Advanced Structured Materials*, 517–546. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-37313-8\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-031-37313-8_29)
16. Zare, I., Allen, M. S. (2021). Adapting a contact-mechanics algorithm to predict damping in bolted joints using quasi-static modal analysis. *International Journal of Mechanical Sciences*, 189, 105982. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2020.105982>
17. Wang, F., Wei, H. (2018). Virtual element method for simplified friction problem. *Applied Mathematics Letters*, 85, 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.aml.2018.06.002>
18. Shyshkanova, G., Walther, A. (2023). Simple layer potential expansion for optimization of contact interaction taking into account friction and adhesion. *Journal of Physics: Conference Series*, 2675 (1), 012033. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2675/1/012033>
19. Guk, N. A., Obodan, N. I. (2014). An Algorithm for the Solution of the Inverse Problem of the Theory of Shells. *Journal of Mathematical Sciences*, 198 (2), 192–203. <https://doi.org/10.1007/s10958-014-1783-5>
20. Obodan, N. I., Zaitseva, T. A., Fridman, O. D. (2019). Contact Problem for a Rigid Punch and an Elastic Half Space as an Inverse Problem. *Journal of Mathematical Sciences*, 240 (2), 184–193. <https://doi.org/10.1007/s10958-019-04346-2>
21. Shyshkanova, G., Zaytseva, T., Zhushman, V., Levchenko, N., Korotunova, O. (2023). Solving three-dimensional contact problems for foundation design in green building. *Journal of Physics: Conference Series*, 2609 (1), 012001. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2609/1/012001>
22. Free Student Software Downloads. Ansys. Available at: [https://www.ansys.com/academic/students?utm\\_source=ie&utm\\_medium=video2&utm\\_campaign=freedownload](https://www.ansys.com/academic/students?utm_source=ie&utm_medium=video2&utm_campaign=freedownload)
23. Obodan, N., Guk, N., Kozakova, N. (2017). Identification of the additional exposure zone for ensuring a complete contact of the two-layered system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (89)), 23–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109674>
24. Guk, N. A., Kozakova, N. L. (2021). Delamination of a Three-Layer Base Under the Action of Normal Loading. *Journal of Mathematical Sciences*, 254 (1), 89–102. <https://doi.org/10.1007/s10958-021-05290-w>
25. CLIPS. A Tool For Building Expert Systems. Available at: <https://www.clipsrules.net/>
26. Banichuk, N. V., Ivanova, S. Yu. (2017). Optimal Structural Design. De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110531183>
27. Zhou, Y., Lin, Q., Hong, J., Yang, N. (2020). Combined interface shape and material stiffness optimization for uniform distribution of contact stress. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 51 (2), 1001–1015. <https://doi.org/10.1080/15397734.2020.1860086>
28. Kress, R. (1989). Tikhonov Regularization. *Applied Mathematical Sciences*, 243–258. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-97146-4\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-642-97146-4_16)
29. Gutman, E. M. (1994). *Mechanochemistry of Solid Surfaces*. World Scientific. <https://doi.org/10.1142/2373>
30. Dolinskiy, V. M. (1975). Izgib tonkih plastin, podverzhennyh korrozionnomu iznosu. *Dinamika i prochnost' mashin*, 21, 43–49.

АНОТАЦІЇ  
APPLIED MECHANICS

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.300090

## РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІТИЧНОГО РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧІ ПРО РАДІАЛЬНІ КОЛИВАННЯ ДИСКІВ ЗМІННОЇ ТОВЩИНИ (с. 6–15)

К. О. Трапезон, О. Г. Трапезон, В. І. Калініченко, В. С. Дідковський

Отримано аналітичний розв'язок задачі про радіальні коливання дисків змінної товщини. Розглянуто диск, який жорстко закріплено по внутрішньому круговому контурі ( $\rho=0.2$ ) і вільний на зовнішньому контурі ( $\rho=1$ ). Товщина диску змінюється за законом  $H=H_0(\rho^{\nu+\mu}+C\rho^{\nu-\mu})^2$ , де  $H_0$ ,  $C$ ,  $\mu$  – довільні постійні;  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона. Відомий точний розв'язок задачі лише при  $H=\text{const}$  та  $H=1/\rho^3$ . Проте ці розв'язки не достатні для вивчення коливань дисків інших конфігурацій. Запропонований закон зміни товщини  $H(\rho)$  дозволяє отримати точні розв'язки задачі при довільному значенні постійних коефіцієнтів  $H_0$ ,  $C$ ,  $\mu$ ,  $\nu$ . Варіюючи значеннями цих коефіцієнтів в рамках однієї заданої функції можна задати профіль диску бажаного вигляду. Методи, що використані для отримання цих розв'язків базуються на доцільних математичних перетвореннях вихідного рівняння.

Розв'язано задачу про коливання диска на прикладі чотирьох варіантів зміни товщини. Розраховано власні частоти для трьох перших форм коливань. Порівняння власних частот, які знайдено для трьох випадків пологості профілю диска, свідчать про підвищення їх значень при збільшенні вигину товщини диска. На основі отриманих власних функцій розраховано напруження та визначено характер їх розподілу уздовж радіальної координати диску.

Проведено оцінку міцності дисків при резонансних радіальних коливаннях з використанням спеціального критерію. Знайдено, що найбільш граничне, тобто руйнівне головне напруження  $\sigma_1=\sigma$ , при першій (основній) формі коливань повинно бути обрано із співвідношення  $\sigma_1 \approx 0.79[\sigma_{-1}]$ , де  $[\sigma_{-1}]$  – межа витривалості матеріалу диску при однорідному навантаженні. Отримані результати можуть бути використані для прогнозування напружено-деформованого стану дисків змінного профілю при їх радіальних коливаннях.

**Ключові слова:** диск змінної товщини, радіальні коливання, власні частоти, форми коливань, напруження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302838

## РОЗРОБЛЕННЯ ЗАГАЛЬНОГО АЛГОРИТМУ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ СТІЙКОСТІ АНІЗОТРОПНИХ ПЛАСТИН (с. 16–23)

Shahin Guliyev, Rizvan Shukurov, Hajar Huseynzade, Leila Huseynova, Aliyar Hasanov

Цю статтю присвячено розробці розв'язання загального алгоритму задачі стійкості анізотропних пластин з використанням методу дискретизації додаткового навантаження. Дослідження проблеми стійкості актуальне для всіх типів конструктивних елементів і деталей машин, і її значення особливо зростає стосовно анізотропних тонких пластин. Це пов'язано з тим, що із застосуванням нових конструкцій і матеріалів знижується матеріаломісткість, збільшується сфера застосування тонкостінних систем з малою жорсткістю, для яких зростає небезпека пружної втрати стійкості, а, отже, зростає важливість і актуальність теорії та методів практичного розв'язання задач пружної стійкості таких конструкцій.

У багатьох роботах наводяться аналітичні вирази для визначення критичного навантаження. Наразі визначення критичних навантажень викликає великі труднощі саме під час їхнього чисельного визначення. Тому в статті представлено найефективніше чисельно-аналітичне розв'язання цієї задачі.

Зазвичай для розв'язання задач стійкості анізотропних пластин використовують різні подання функції прогину під час вигину в різних рядах. Але використання таких уявлень виправдане тільки за певних граничних умов і за умови рівномірно розподіленого навантаження. Дослідження, описане в цій статті, пропонує спосіб подолання цих труднощів, що дає змогу без особливих труднощів визначати чисельні значення критичних сил. Зі збільшенням щільності сітки точність одержуваного значення критичного навантаження швидко зростає, і за сітки  $8 \times 8$  відхилення від точного рішення дорівнює 1 %.

З практичного погляду виявлений механізм чисельної реалізації цієї задачі дає змогу поліпшити інженерні проектувальні розрахунки стійкості анізотропних пластин з різними умовами на опорах і з різним навантаженням.

**Ключові слова:** стійкість конструкцій, стійкість пластин, міцність пластин, анізотропні пластини, ортотропні пластини, метод дискретизації.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.301711

## ВИЗНАЧЕННЯ ФОРМИ ГНУЧКОЇ НИТКИ В ПОЛІ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ТА ВЕРТИКАЛЬНИХ СИЛ (с. 24–30)

Т. М. Воліна, С. Ф. Пилипака, В. М. Несвідомін, М. В. Каленик, Д. В. Спірінцев, С. С. Денежніков, І. Ю. Грищенко, А. М. Ребрій, Т. Г. Геращенко, В. М. Солощенко

В теоретичній механіці розглянуто рівновагу гнучкої нерозтяжної нитки, до якої прикладено силу натягу її кінців і розподілену силу ваги вздовж довжини її дуги. Невирішеною проблемою є знаходження форми нитки під дією і інших розподілених сил. В дослідженні розглянуто рівновагу абсолютно гнучкої стрічки, до якої окрім цієї сили прикладена поперечна розподілена сила. Прикладом такого навантаження може бути парус. Розподіленою силою можна вважати вітер однакової інтенсивності в площині ортогонального перерізу паруса. Парус можна розрізати на вузькі смужки з однаковою формою кривих поперечного перерізу, які рівні перерізу паруса в цілому. Виходячи з цього, в дослідженні застосована теорія гнучкої нитки. Задача зводиться до знаходження кривої поперечного перерізу паруса.

Об'єктом дослідження є формоутворення циліндричної поверхні із гнучкої стрічки під дією прикладених до неї розподілених сил.

Важливою характеристикою форми гнучкої нитки є її кривина. Знайдено її залежність від довжини дуги і з'ясовано, що знайденою кривою є ланцюгова лінія (катенарія). В цьому полягає особливість дослідження і його відмінні риси. Значущість отриманих результатів впливає із отриманих аналітичних залежностей, згідно яких зміна співвідношення між розподіленими силами, що діють на гнучку нитку, деформують її, однак вона зберігає форму катенарії. При цьому змінюється кут відхилення її осі симетрії від вертикалі. При відсутності горизонтальної розподіленої сили і наявності тільки розподіленої сили ваги вісь симетрії ланцюгової лінії спрямована вертикально – під кутом  $90^\circ$  до горизонталі. При їх рівності цей кут становить  $45^\circ$ . Сфера застосування – конструкції із натягнутими підтримуючими проводами, конвеєрні стрічки, гнучкі підвісні стелі, форма яких може бути розрахована завдяки отриманим результатам.

**Ключові слова:** ланцюгова лінія, кривина, вісь симетрії, кут нахилу, нерозтяжна нитка.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302795

## ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ТОВЩИНИ НА ШИРИНУ ТРІЩИН У КОНСТРУКЦІЯХ ІЗ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ З ОДИНОЧНОЮ АРМАТУРОЮ (с. 31–37)

Bhondana Bayu Brahmana Kridaningrat, Agoes Soehardjono, Wisnumurti, Devi Nuralinah

У роботі представлено оціночне дослідження граничних станів за тріщиноутворенням відповідно до норм проектування та попередніх досліджень. Насамперед воно спрямоване на зіставлення результатів досліджень з подібними норм проектування. Тріщини в залізобетонних конструкціях все ще є складною проблемою для дослідників, особливо в конструкціях з плит з одиночною арматурою, де через тріщини в арматурі спостерігається багато пошкоджень та корозії. Знаходження правильної формули полегшить фахівцям-практикам проектування таких конструкцій та дозволить вирішити проблему довговічності залізобетонних плит. На основі даного дослідження пропонується підхід для розрахунку формули максимальної ширини тріщин у залізобетонних плитах різної товщини з одиночною арматурою. Плити мають різну товщину, включаючи 125 мм, 150 мм, 175 мм та 200 мм. Випробувальні зразки мають однакові розміри і сталеву арматуру, ширину плити 0,6 м та довжину 2 м. На підставі літературного аналізу формул прогнозування з попередніх дослідницьких робіт та норм, а саме  $w_{\max(\text{prop})} = 7,5 \cdot 10^{-3} f_f h^{0,333}$ , було встановлено, що товщина ( $h$ ) практично не впливає на максимальну ширину тріщин. Результати обох підходів у даному аналізі в цілому відповідають спостережуваним експериментальним випробуванням та запропонованій формулі. Виходячи з цих спостережень, збільшення товщини залізобетонної плити призвело до значного зменшення максимальної ширини тріщин, таким чином була отримана експериментальна формула, а саме  $w_{\max(\text{exp})} = 0,32 f_f h^{1,113}$ . Отже, для оцінки впливу параметрів товщини плит товщиною менше 200 мм на формулу максимальної ширини тріщин для залізобетонних плит потрібна постійна величина, також була отримана спеціальна апроксимуюча формула. На практиці формула ширини тріщин може бути використана тільки для плит з одиночною арматурою.

**Ключові слова:** ширина тріщин при вигині, плита з одиночною арматурою, залізобетон, товщина плити.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299537

## СИТУАЦІЙНА АДАПТАЦІЯ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ МОДЕЛІ 13-7024 ДО ПЕРЕВЕЗЕНЬ СТРАТЕГІЧНИХ ВАНТАЖІВ (с. 38–46)

А. О. Ловська, В. П. Нерубацький, О. А. Плахтій, С. С. Мямлін

Об'єктом дослідження є процеси виникнення, сприйняття та перерозподілу навантажень в конструкції зйомного модуля для ситуаційної адаптації вагона-платформи моделі 13-7024 до перевезень стратегічних вантажів.

Для можливості перевезень стратегічних вантажів, в тому числі, військової техніки, сільськогосподарських машин тощо, на вагоні-платформі пропонується використання зйомного модуля. Для визначення параметрів конструкційних складових зйомного модуля проведено відповідні розрахунки. При цьому профіль виконання каркаса визначено за величиною максимального згинального моменту, який діє в його перерізі. Товщину листа, що утворює горизонтальну площину для розміщення вантажу, розраховано за методом Бубнова–Гальоркіна. Для обґрунтування визначених параметрів конструкційних складових зйомного модуля проведено його розрахунок на міцність. Результати проведених розрахунків показали, що міцність зйомного модуля при розглянутих схемах експлуатаційних навантажень забезпечується.

Особливістю отриманих результатів дослідження є те, що використання запропонованої конструкції зйомного модуля дозволяє розширити номенклатури перевозимих вагонами-платформами вантажів без їх удосконалення.

Сферою практичного використання отриманих результатів є машинобудівна галузь, зокрема, залізничний транспорт. Умовами практичного використання результатів дослідження є застосування змінних за висотою фітінгів в зйомному модулі.

Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо підвищення ефективності експлуатації вагонів-платформ шляхом їх ситуаційної адаптації до перевезень стратегічних вантажів. Також отримані результати можуть бути корисними напрацюваннями при створенні сучасних конструкцій транспортних засобів модульного типу.

**Ключові слова:** залізничний транспорт, вагон-платформа, ситуаційна адаптація вагона, зйомний модуль, навантаженість зйомного модуля.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302879

## ВИЯВЛЕННЯ ДЕЯКИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ТУРБУЛЕНТНОГО СТАНОЦІЙНОГО ПЛОСКОПАРАЛЕЛЬНОГО РУХУ НЕСТИСЛИВОЇ РІДИНИ НА ДОВЖИНИ ВХОДУ (с. 47–55)

Arestak Sarukhanyan, Garnik Vermishyan, Hovhannes Kelejian, Armine Gevorgyan

У цій роботі досліджуються структурні зміни турбулентного руху нестисливої рідини в гідродинамічній вхідній області плоскопаралельного руху тиску. Рух в напірних гідромеханічних системах зазвичай відбувається в турбулентному режимі. Вивчення законо-

мірностей зміни гідродинамічних параметрів в умовах стаціонарного турбулентного руху тиску у вхідній області є дуже актуальною задачею. Дослідження проводились на основі рівнянь прикордонного шару. Враховуючи залежність змін коефіцієнта кінематичної в'язкості, що відбуваються між шарами рідини, сформовано крайову задачу. Отримано аналітичні рішення, які дозволяють отримати закономірності зміни швидкості та тиску в будь-якому ефективному перерізі потоку. На основі загальних висновків дослідження було знайдено рішення для двох випадків:

- а) швидкість рідини, що надходить у циліндричну трубу, стала;
- б) швидкість набігаючої рідини має параболический розподіл.

Для цих випадків за допомогою комп'ютерного аналізу отриманих даних були побудовані загальні графіки зміни швидкості в різних перерізах вздовж області гідродинамічного входу. Ці графіки, що відображають зміну швидкості по всій довжині входу, дозволяють отримати швидкість руху рідини в будь-якій точці довжини входу і оцінити довжину перехідної зони. Отримані результати належать до найменш вивчених питань класичної механіки рідини та становлять важливий теоретичний інтерес. Отримані результати придатні для коректної побудови гідродинамічної вхідної області машин. Отримано розрахункову формулу для визначення довжини гідродинамічної вхідної області.

**Ключові слова:** плоскопаралельний рух, гідродинамічна вхідна область, турбулентний рух, в'язка рідина, розподіл швидкостей.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.300648

### ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЗМУ РОЗРАХУНКУ НАТЯГНЕНЬ СТРІЧКИ КОНВЕЄРА, ПРАЦЮЮЧОГО ПІД ЧАС ЗМІНИ ДОВЖИНИ ТРАНСПОРТУВАННЯ (с. 56–66)

О. В. Гаврюков, М. Ю. Колесніков, А. В. Запривода, В. Ю. Луценко О. В. Бондарчук

В роботі досліджено робочий процес стрічкового конвеєра з працюючим приводом, що може змінювати довжину транспортування. Конвеєр може бути застосований для проведення тунелів, розробки корисних копалин на шахтах і в кар'єрах, транспортування матеріалів на складах. Застосування такого конвеєра дозволяє скоротити час на операції по збільшенню або зменшенню довжини транспортування, виключити з транспортного ланцюжка перевантажувачі між робочим обладнанням і самим конвеєром.

Встановлено, що під час зміни довжини транспортування працюючого конвеєра, збільшується статичне і динамічне навантаження стрічки. Зміна статичного навантаження стрічки на барабані пересувної станції залежить від швидкості пересувної станції і швидкості стрічки, що створюється приводом конвеєра. Динамічна навантаженість стрічки залежить від прискорення стрічки яке пов'язане з прискоренням пересувної станції під час зміни довжини транспортування конвеєра.

Для працюючого конвеєра, що змінює довжину транспортування, статичне натяг стрічки на барабані пересувної станції може збільшуватися в 1,1–1,4 рази від початкового. Динамічна навантаженість стрічки може мати значне збільшення якщо прискорення пересувної станції не розтягнуте у часі і має великі значення.

На основі отриманих в роботі залежностей запропонована методика розрахунку для проектування стрічкового конвеєра з працюючим приводом, що може змінювати довжину транспортування.

З застосуванням програмного забезпечення Mathcad верифікувана методика розрахунку для проектування.

Отримані результати дають можливість застосовувати нові методи проектування при створенні конкурентноздатних машин обладнаних стрічковим конвеєром зі змінною довжиною транспортування.

**Ключові слова:** стрічковий конвеєр, програмне забезпечення, проектування, натягнення стрічки, теоретичні дослідження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302792

### РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ МОДЕЛЕЙ РОЗРАХУНКУ КОНТАКТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЗАЄМОДІЇ ЖОРСТКОГО ШТАМПА З ПРУЖНИМ ПІВПРОСТОРОМ (с. 67–78)

Т. А. Зайцева, В. В. Жушман

Об'єктом дослідження є система штамп-пружний півпростір, що знаходиться під дією стискаючої сили. В роботі розв'язано проблему визначення контактних напружень і переміщень. Змістом отриманих результатів є побудовані моделі, оцінка їх адекватності.

В роботі розглянуто задачу про тиснення на однорідний та ізотропний пружний півпростір абсолютно жорсткого плоского двов'язного штампа. Для отримання аналітичного розв'язку, застосовано варіант метода збурень заснований на розкладанні за малим параметром потенціала простого шару, розподіленого по двов'язній області. Виконано зведення задачі про тиснення плоского штампу у формі некругового кільця до послідовності задач для штампа у формі кругового кільця. Це дозволило використовувати відоме рішення для кругового кільця.

За допомогою системи ANSYS побудовано скінченно-елементні моделі. Створено групу моделей для врахування можливих пошкоджень у разі перебування системи штамп-пружний півпростір в складних природних умовах або в агресивному середовищі за певний час модельного застосування. Таким чином сформовано базу даних з метою подальшої передачі її у програмний інструмент CLIPS. Створено набори правил та знань.

В процесі дослідження розроблено узагальнюючий алгоритм для задач побудови та аналізу математичних і комп'ютерних моделей контактної взаємодії жорсткого циліндричного штампа із плоскою двов'язною основою з пружним півпростором під дією стискаючої сили. Вирішена задача визначення геометричної форми поперечного перерізу кільцевого в плані штампа для системи штамп-пружний півпростір у разі, коли зона контакту не відома заздалегіть. Побудований підхід може бути застосовано в інженерних розрахунках на міцність та довговічність.

**Ключові слова:** просторова контактна задача, аналітичний розв'язок, метод скінченних елементів, ANSYS, CLIPS.