

ABSTRACT AND REFERENCES

APPLIED MECHANICS

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.218551

KINEMATIC AND KINETOSTATIC ANALYSIS OF THE SIX-LINK STRAIGHT-LINE GENERATING CONVERTING MECHANISM OF THE UNBALANCED SUCKER ROD PUMPER DRIVE (p. 6–13)**Rakhmatulina Ayaulym**

Institute of Mechanics and Engineering Science
named after acad. W. A. Dzholdasbekov, Almaty, Kazakhstan
Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6670-7496>

Ibrayev Sayat

Institute of Mechanics and Engineering Science
named after acad. W. A. Dzholdasbekov, Almaty, Kazakhstan
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6265-5745>

Imanbayeva Nurbibi

Institute of Mechanics and Engineering Science
named after acad. W. A. Dzholdasbekov, Almaty, Kazakhstan
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6889-3421>

Ibrayeva Arman

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8887-9640>

Tolebayev Nurzhan

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6842-194X>

The results of kinematic and force analysis of the new six-link converting mechanism of the sucker rod pumper drive (SRPD) are presented in this paper and the advantages of the alternative design are substantiated. Using a straight-line generating mechanism allows reducing essentially converting mechanism dimensions and metal consumption as compared with traditionally used SRPD with swinging balancer and crank-based counterweight, first of all, due to eliminating the complicated arc head (so-called «horse-head») of the existing units. However, in order to make sure the working capacities of non-balancer mechanism, kinematic and force characteristics have to be studied. The results of mathematical modeling of the six-link mechanism confirm the qualitative advantages of the straight-line generator. As a result of the study of the rectilinear-guiding mechanism as a transforming mechanism for the drive of sucker rod pumping units, the laws of motion of the links, position, speed and acceleration of all points were determined. To solve the problem of kinematic analysis, the method of closed vector contours was used, which makes it possible to determine the functions of the position of links and analogs of speeds and accelerations. When solving the problem of strength analysis, the equilibrium of each link was considered. As a result of force analysis, jointly solving the equilibrium equations of the links of the six-link hinge-lever mechanism, the reactions of the hinges of the mechanism are determined. A computer model for studying the kinematics and kinetostatics of the converting mechanism of the sucker rod pumping unit drive has been developed.

Keywords: sucker rod pumper drive, converting mechanism, straight-line generator, crank, balancer, kinematic analysis, force analysis.

References

1. Torres, L. H. S., Schntman, L. (2013). Sucker-Rod Pumping System of Oil Wells: Modelling, Identification and Process Control. 6th IFAC Conference on Management and Control of Production and Logistics The International Federation of Automatic Control. Fortaleza, 260–265. doi: <https://doi.org/10.3182/20130911-3-br-3021.00052>
2. Yin, J.-J., Sun, D., Yang, Y. (2020). Predicting multi-tapered sucker-rod pumping systems with the analytical solution. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 108115. doi: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.108115>
3. Ahmedov, B., Najafov, A., Abdullayev, A. (2018). Determination of the kinematic parameters of the new constructive solution of the beamless sucker-rod pump. *Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics*, 1 (3), 128–135. doi: <https://doi.org/10.31462/jseam.2018.03128135>
4. Dumitru, N., Baila, A., Craciunoiu, N., Malciu, R. (2011). Dynamic analysis of the oil rod pumping system mechanism. *Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium*, 22 (1).
5. Kennedy, F. F., Michel, L., Frederic, L., Abbas, N., Njoke, M. (2015). Hands-on model of sucker rod pumping facility for oil well production. *Journal of Petroleum and Gas Engineering*, 6 (4), 45–53. doi: <https://doi.org/10.5897/jpge2015.0220>
6. Volokhin, A. V., Volokhin, E. A., Arsibekov, D. V. (2019). Improving the beam-balanced pumping unit. *Petroleum Engineering*, 17 (5), 114. doi: <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2019-5-114-122>
7. Tan, C., Li, G., Qu, Y., Yan, X., Bangert, P. Predicting the Dynamometer Card of a Rod Pump. *Algorithmica Technologies*. Available at: http://www.algorithmica-technologies.com/system/case_studies/pdf_ens/000/000/012/original/09_Predicting_the_Dynamometer_Card_of_a_Rod_Pump.pdf?1457398050
8. Singal, K., Zamanian, F., Marotta, E., Sivaramakrishnan, S. (2014). Pat. No. US9605670B2. Method and systems for enhancing flow of a fluid induced by a rod pumping unit. No. 14/575,789; declared: 18.12.2014; published: 23.06.2016. Available at: <https://patentimages.storage.googleapis.com/d0/fc/c6/8d2811fbd0f53c/US9605670.pdf>
9. Ibraev, S., Nurmaganbetova, A., Imanbaeva, N., Zhauyt, A. (2017). Computerized modeling of kinematics and kinetostatics of sucker-rod pump power units. *Engineering for rural development*, 904–909. doi: <https://doi.org/10.22616/erdev2017.16.n184>
10. Imanbaeva, N. S., Nurmaganbetova, A. T., Isametova, M. E., Rakhmatulina, A. B., Sakenova, A. M. (2017). Study mode converts trim mechanism sucker rod pumping units (SRPU), to determine the distance from the rotational axis of the counterweight crank. *Vestnik KazNRTU*, 1, 328–332.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217845

CLAMPED EDGE STRESS ANALYSIS IN H-13 STEEL (p. 14–20)**Carlos de la Cruz Alejo**

National Polytechnic Institute, Mexico City, Mexico
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6005-1577>

Christopher R. Torres-San Miguel

National Polytechnic Institute, Mexico City, Mexico
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0291-7384>

Juan C. Paredes-Rojas

National Polytechnic Institute, Mexico City, Mexico
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2465-6939>

Fernando E. Ortiz-Hernández

National Polytechnic Institute, Mexico City, Mexico
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2300-0559>

The dynamic behavior in the clamped edge stress of structures is not yet fully understood clearly; also, clamped structures involve uncertainty. This research presents a numerical and analytical study of clamped edge stress behavior due to the load imposed by the chip-cutting tool on a workpiece. Clamping system, which is made of H-13 steel and machining workpiece made of AISI 8620 steel are analyzed. The maximum clamped edge stress is analyzed through dynamic response, considering the machined part as a cantilever beam, involving the constitutive relations as well as the compatibility equations. The central differential equation of motion leads us to determine the modal stresses that are a primary characteristic of the structure and that are also distributed in it. Once the modal stress has been determined as well as the maximum amplitude at the free end of the specimen to be machined, it is possible to calculate the maximum clamped edge stress that is generated between both the specimen and the clamping system. Finally, a numerical analysis of the clamping jaw is performed for the discretised system and analyzed separately using the finite element method. Clamped edge stresses are assessed through a modal study using a set of numerical simulations to corroborate the modal stress estimated analytically. The results show that the clamped edge stress in the clamping system is a considerable influence in the design parameters of the structure. Therefore, complete knowledge of the dynamic response of the clamping system will lead to better structural design with the possibility of using different materials for the same purpose.

Keywords: clamped edge stress, modal analysis, dynamic response, clamping system, modal stresses.

References

- Bokaian, A. (1988). Natural frequencies of beams under compressive axial loads. *Journal of Sound and Vibration*, 126 (1), 49–65. doi: [https://doi.org/10.1016/0022-460x\(88\)90397-5](https://doi.org/10.1016/0022-460x(88)90397-5)
- Hou, Z., Xiao, D., Wu, X., Dong, P., Chen, Z., Niu, Z., Zhang, X. (2010). Effect of Axial Force on the Performance of Micromachined Vibratory Rate Gyroscopes. *Sensors*, 11 (1), 296–309. doi: <https://doi.org/10.3390/s110100296>
- Gillich, G.-R., Furdui, H., Abdel Wahab, M., Korca, Z.-I. (2019). A robust damage detection method based on multimodal analysis in variable temperature conditions. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 115, 361–379. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2018.05.037>
- Du, X., Wang, L., Li, A., Wang, L., Sun, D. (2017). High Accuracy Resonant Pressure Sensor With Balanced-Mass DETF Resonator and Twinborn Diaphragms. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 26 (1), 235–245. doi: <https://doi.org/10.1109/jmems.2016.2632108>
- Hu, Y., Xue, H., Hu, H. (2007). A piezoelectric power harvester with adjustable frequency through axial preloads. *Smart Materials and Structures*, 16 (5), 1961–1966. doi: <https://doi.org/10.1088/0964-1726/16/5/054>
- Blevins, R. D., Plunkett, R. (1980). Formulas for Natural Frequency and Mode Shape. *Journal of Applied Mechanics*, 47 (2), 461–462. doi: <https://doi.org/10.1115/1.3153712>
- Zhou, P., Hu, Y., Zhang, X. (2005). Based on ANSYS modal analysis for gas compressor disc. *Machinery Design & Manufacture*, 6, 61–62.
- Ren, W.-X., Chen, G., Hu, W.-H. (2005). Empirical formulas to estimate cable tension by cable fundamental frequency. *Structural Engineering and Mechanics*, 20 (3), 363–380. doi: <https://doi.org/10.12989/sem.2005.20.3.363>
- Yesilce, Y., Demirdag, O. (2008). Effect of axial force on free vibration of Timoshenko multi-span beam carrying multiple spring-mass systems. *International Journal of Mechanical Sciences*, 50 (6), 995–1003. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmesci.2008.03.001>
- Carpinteri, A., Malvano, R., Manuello, A., Piana, G. (2014). Fundamental frequency evolution in slender beams subjected to imposed axial displacements. *Journal of Sound and Vibration*, 333 (11), 2390–2403. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2014.01.018>
- Zui, H., Shinke, T., Namita, Y. (1996). Practical Formulas for Estimation of Cable Tension by Vibration Method. *Journal of Structural Engineering*, 122 (6), 651–656. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(1996\)122:6\(651\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(1996)122:6(651))
- Gellert, M., Gluck, J. (1972). The influence of axial load on eigen-frequencies of a vibrating lateral restraint cantilever. *International Journal of Mechanical Sciences*, 14 (11), 723–728. doi: [https://doi.org/10.1016/0020-7403\(72\)90010-0](https://doi.org/10.1016/0020-7403(72)90010-0)

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217162

ESTABLISHING PATTERNS IN DETERMINING THE DYNAMICS AND STRENGTH OF A COVERED FREIGHT CAR, WHICH EXHAUSTED ITS RESOURCE (p. 21–29)

Oleksij Fomin

State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine

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

Alyona Lovska

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine

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

This paper substantiates prolonging the service life of a covered railroad freight car that has exhausted its rated life of operation. In this case, the actual amount of wear of the bearing structure elements, registered during operation, have been taken into consideration. The reported calculations showed that the design service life of the bearing structure of a covered freight car when taking into consideration the extension of operation, is not less than 2 years.

Mathematical modeling was carried out to determine the dynamic load on the bearing structure of a covered freight car. It has been established that the maximum accelerations that act on the bearing structure of a covered freight car are 42 m/s^2 . In order to determine the acceleration distribution fields relative to the bearing structure of a covered freight car, a computer simulation was performed. The calculations showed that the maximum acceleration amounts to 43.2 m/s^2 and is concentrated in the middle part of the girder beam. F-criterion was used to verify the dynamic load models.

The maximum equivalent stresses of the bearing structure of a covered freight car were determined taking into consideration the wear of its components. It was found that the maximum equivalent stresses occur in the area of interaction between the girder beam and the rod beam and amount to

344 MPa. In other words, the maximum equivalent stresses do not exceed permissible ones.

The basic dynamic indicators for a covered freight car have been calculated. The maximum accelerations that act on the bearing structure of a covered freight car in the center of masses reached about 5 m/s^2 . The acceleration of the body in the regions of resting on bogies was about 6 m/s^2 . The travel of the car is rated «good».

This study would contribute to improving the efficiency of the transportation process, as well as the functioning of railroad transport.

Keywords: operating resource, residual resource, resource prolongation, technical condition, structural strength, strained state.

References

- Sapronova, S., Bulich, D., Tkachenko, V. (2017). Continued service life of freight wagons. *Visnyk Skhidnoukrajinskoho Natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*, 3 (233), 179–182.
- Anofriev, V. H., Reidemeister, O. H., Kalashnyk, V. A., Kuliashov, V. P. (2016). To the issue of extending the service life of cars for transportation of pellets. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 3 (63), 148–160. doi: <https://doi.org/10.15802/stp2016/74749>
- 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, 012026. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/664/1/012026>
- Šťastniak, P., Moravčík, M., Smetanka, L. (2019). Investigation of strength conditions of the new wagon prototype type Zans. *MATEC Web of Conferences*, 254, 02037. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201925402037>
- Okorokov, A., Fomin, O., Lovska, A., Vernigora, R., Zhuravel, I., Fomin, V. (2018). Research into a possibility to prolong the time of operation of universal open top wagon bodies that have exhausted their standard resource. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (93)), 20–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.131309>
- Santos, G. F. M. dos, Barbosa, R. S. (2016). Safety analysis of a railway car under the periodic excitation from the track. *Cogent Engineering*, 3 (1). doi: <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1263027>
- Buonsanti, M., Leonardi, G. (2012). Dynamic Modelling of Freight Wagon with Modified Bogies. *European Journal of Scientific Research*, 86 (2), 274–282. Available at: https://www.academia.edu/15732567/Dynamic_modelling_of_freight_wagon_with_modified_bogies
- Myamlin, S., Lingaitis, L. P., Dailydka, S., Vaičiūnas, G., Bogdevičius, M., Bureika, G. (2015). Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie. *TRANSPORT*, 30 (1), 88–92. doi: <https://doi.org/10.3846/16484142.2015.1020565>
- Afanas'ev, A. V. (2008). Sovershenstvovanie metodiki otsenki tehnikeskogo sostoyaniya i raschetnogo obosnovaniya prodleniya sroka sluzhby poluvagonov. *Transport Urala*, 1, 49–52. Available at: http://www.engcenter.ru/press/tr_urala/tu-1-rus.pdf
- Bogomaz, G. I., Mehov, D. D., Pilipchenko, O. P., Chernomashentseva, Yu. G. (1992). Nagruzhenost' konteynerov-tsistern, raspolozhennyh na zheleznodorozhnoy platforme, pri udarah v avtostsepku. *Dynamika ta keruvannya rukhom mekhanichnykh system*, 87–95.
- Fomin, O., Lovska, A., Radkevych, V., Horban, A., Skliarenko, I., Gurenkova, O. (2019). The dynamic loading analysis of containers placed on a flat wagon during shunting collisions. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14 (21), 3747–3752. Available at: https://www.researchgate.net/publication/337316337_THE_DYNAMIC_LOADING_ANALYSIS_OF_CONTAINERS_PLACED_ON_A_FLAT_WAGON_DURING_SHUNTING_COLLISIONS
- Alyamovskiy, A. A. (2010). *COSMOSWorks. Osnovy rascheta konstruktsiy na prochnost' v srede SolidWorks*. Moscow, 785.
- Lovska, A., Fomin, O., Pištěk, V., Kučera, P. (2019). Dynamic load computational modelling of containers placed on a flat wagon at railroad ferry transportation. *Vibroengineering PROCEDIA*, 29, 118–123. doi: <https://doi.org/10.21595/vp.2019.21132>
- Kondratiev, A. V., Gaidachuk, V. E., Kharchenko, M. E. (2019). Relationships Between the Ultimate Strengths of Polymer Composites in Static Bending, Compression, and Tension. *Mechanics of Composite Materials*, 55 (2), 259–266. doi: <https://doi.org/10.1007/s11029-019-09808-x>
- Fomin, O., Lovska, A. (2020). Improvements in passenger car body for higher stability of train ferry. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 23 (6), 1455–1465. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.08.010>
- Vatulia, G. L., Lobiak, O. V., Deryzemlia, S. V., Verevicheva, M. A., Orel, Y. F. (2019). Rationalization of cross-sections of the composite reinforced concrete span structure of bridges with a monolithic reinforced concrete roadway slab. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 664, 012014. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/664/1/012014>
- Vatulia, G., Komagorova, S., Pavliuchenkov, M. (2018). Optimization of the truss beam. Verification of the calculation results. *MATEC Web of Conferences*, 230, 02037. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823002037>
- Ivchenko, G. I., Medvedev, Yu. I. (2014). *Matematicheskaya statistika*. Moscow, 352.
- Rudenko, V. M. (2012). *Matematychna statystyka*. Kyiv, 304.
- DSTU 7598:2014. Freight wagons. General requirements to calculation and designing of the new and modernized 1520 mm gauge wagons (non-self-propelled) (2015). Kyiv, 162.
- GOST 33211-2014. Freight wagons. Requirements to structural strength and dynamic qualities (2016). Moscow, 54. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200121493>
- EN 12663-2. Railway applications - structural requirements of railway vehicle bodies – Part 2: Freight wagons (2010).
- Domin, Yu. V., Cherniak, H. Yu. (2003). *Osnovy dynamiky vahoniv*. Kyiv: KUETT, 269.
- Fomin, O., Lovska, A., Pistek, V., Kucera, P. (2020). Research of stability of containers in the combined trains during transportation by railroad ferry. *MM Science Journal*, 2020 (1), 3728–3733. doi: https://doi.org/10.17973/mmsj.2020_03_2019043
- Dižo, J., Steišūnas, S., Blatnický, M. (2016). Simulation Analysis of the Effects of a Rail Vehicle Running with Wheel Flat. *Manufacturing Technology*, 16 (5), 889–896. doi: <https://doi.org/10.21062/ujep/x.2016/a/1213-2489/mt/16/5/889>
- Dižo, J., Harušinec, J., Blatnický, M. (2015). Multibody System of a Rail Vehicle Bogie with a Flexible Body. *Manufacturing Technology*, 15 (5), 781–788. doi: <https://doi.org/10.21062/ujep/x.2015/a/1213-2489/mt/15/5/781>
- Fomin, O., Lovska, A., Pištěk, V., Kučera, P. (2019). Dynamic load effect on the transportation safety of tank containers as

part of combined trains on railway ferries. *Vibroengineering PROCEDIA*, 29, 124–129. doi: <https://doi.org/10.21595/vp.2019.21138>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217193
OPTIMIZING THE PONTOON OF A COMPOSITE DOCK WHEN CHANGING A RATIO OF THE SIDES' LENGTH IN A REINFORCED-CONCRETE SLAB (p. 30–35)

Oleksandr Shchedrolosiev

Kherson branch of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7972-3882>

Leontiy Korostylov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4370-3270>

Serhii Klymenkov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9717-5816>

Kostiantyn Kyrychenko

Kherson branch of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0974-6904>

This paper investigates the local strength of reinforced-concrete slabs in a pontoon of the composite floating dock under uniform hydrostatic load.

A refined approach was applied to calculate the reinforced-concrete slabs considering the difference in the mechanical characteristics of concrete exposed to stretching and compression.

The length of the zone of fixation that impacts concrete compression and stretching has been determined, which is 0.22 lengths of the short side of the rectangular slab. To this end, preliminary calculations of stresses in slabs made from a non-composite homogeneous material were performed, at different sizes of thickness and ratios of the slabs' side lengths.

A finite-element model of the reinforced concrete slab was built, with its reinforcing elements in the longitudinal and transverse directions. The model accounts for differences in the mechanical characteristics, which are set separately for the compressed and stretched regions of concrete.

The stressed-strained state of rectangular reinforced concrete slabs has been estimated for the case of complete immersion of the pontoon in quiet water under the influence of uniform hydrostatic pressure, without taking into consideration possible dynamic loads. When simulating the bottom slabs, the length of the larger side of the supporting contour was taken equal to the distance between the longitudinal walls, based on the structural size of the dock. The length of the short side varied multiple to the longitudinal quad, making it possible to acquire data for a wide range of side length ratios, from 3.3 to 1, most characteristic of ship structures. The compressed and stretched areas of concrete were simulated separately, with the mechanical characteristics of strength and rigidity corresponding to the materials used in the construction of floating docks.

The charts of maximum stresses in concrete and slab reinforcement depending on the length of the short side of the

supporting contour have been built. This has made it possible to determine the optimum width of the slab, which is equal to 3 m for the considered structure under predefined loading.

The applied approach makes it possible to optimize the size of such structures in terms of weight and material consumption.

Keywords: floating composite dock, reinforced-concrete sections, pontoon, strength, reinforced-concrete slab, finite-element simulation.

References

1. Ohl, C., Arnold, A., Uys, H., Andrade, M. (2020). Floating Shipyard Design: Concept and Application. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 67–80. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-13-8743-2_4
2. Rashkovskiy, O. S., Shchedrolosiev, O. V., Yermakov, D. V., Uzlov, O. M. (2015). Proektuvannia, tekhnolohiia i orhanizatsiia pobudovy kompozytnykh plavuchykh dokiv. *Mykolaiv*, 254.
3. Shedrolosov, A. V., Kirichenko, K. V. (2018). Analysis of the condition of floating dock building. *Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy*, 1, 48–58. Available at: <http://adda.edu.az/uploads/Proceedings%20of%20ASMA.pdf>
4. Kyrychenko, K., Yahlytskyi, Yu., Shchedrolosiev, O. (2018). Methods of improvement of the design and construction technology of composite docks. *Shipbuilding and Marine Infrastructure*, 2 (10), 36–47. Available at: <http://smi.nuos.mk.ua/archive/2018/2/6.pdf>
5. Wang, C. M., Utsunomiya, T. (2007). Pontoon-type very large floating structures. *Structural Engineer*, 85 (16), 15–17. Available at: https://www.researchgate.net/publication/290247629_Pontoon-type_very_large_floating_structures
6. Firat, Y., Easley, R., Zinserling, M. (2016). Design and Construction of Two Concrete Pontoons to Serve as Berths at the Port of Juneau Cruise Ship Terminal. *Ports 2016*. doi: <https://doi.org/10.1061/9780784479919.020>
7. Chen, X., Miao, Y., Tang, X., Liu, J. (2016). Numerical and experimental analysis of a moored pontoon under regular wave in water of finite depth. *Ships and Offshore Structures*, 12 (3), 412–423. doi: <https://doi.org/10.1080/17445302.2016.1172831>
8. Hung, C.-C., Chueh, C.-Y. (2016). Cyclic behavior of UHPFRC flexural members reinforced with high-strength steel rebar. *Engineering Structures*, 122, 108–120. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.05.008>
9. Wang, D. H., Ju, Y. Z., Zheng, W. Z. (2017). Strength of Reactive Powder Concrete Beam-Column Joints Reinforced with High-Strength (HRB600) Bars Under Seismic Loading. *Strength of Materials*, 49 (1), 139–151. doi: <https://doi.org/10.1007/s11223-017-9852-x>
10. Korostylev, L. I., Klimenkov, S. Yu., Slutskiy, N. G. (2009). Raschet prochnosti zhelezobetonnih konstruktsiy pontona kompozitnogo plavuchego doka metodom konechnykh elementov. *Zbirnyk naukovykh prats NUK*, 5, 19–25.
11. Postnov, V. A., Harhurim, I. Ya. (1974). Metod konechnykh elementov v raschetah sudovykh konstruktsiy. Leningrad: Sudostroenie, 344.
12. Shchedrolosiev, O., Korostylov, L., Klymenkov, S., Uzlov, O., Kyrychenko, K. (2018). Improvement of the structure of floating docks based on the study into the stressed deformed state of pontoon. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (96)), 26–31. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.150346>
13. Pravila postroyki korpusov sudov i plavuchih sooruzheniy s primeneniem zhelezobetona (2007). *Rehistr sudnoplavstva Ukrainy*. Kyiv: RSU, 128.

14. Papkovich, P. F. (1920). K voprosu o vypuchivanii ploskikh plastin, szhimaemykh usiliyami, prevoshodyashchimi ih Eyle-rovu nagruzku. *Morskoy sbornik*, 3, 8–9.
15. Sokolov, P. A. (1932). O napryazheniyah v szhatoy plastinke posle poteri ustoychivosti. *Sbornik «Trudy NIIS»*, 7, 11–56.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217091

CALCULATION OF THE SPHERICAL ELEMENTS OF NON-UNIFORM THICKNESS FOR STRUCTURES WITH HOLES BASED ON THE VARIATIONAL RVR-METHOD (p. 36–42)

Valentin Salo

National Academy of National Guard
of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2533-0949>

Vladimir Nechiporenko

National Academy of National Guard
of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4727-7344>

Valeriia Rakivnenko

National Academy of National Guard
of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6136-6191>

Stanislav Horielyshev

National Academy of National Guard
of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1689-0901>

Natalia Gleizer

Ukrainian State University
of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9302-0681>

Alexander Kebko

Ukrainian State University
of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6292-1505>

This paper proposes a theoretically substantiated and universal new method to calculate the three-dimensional stressed-strained state of the statically loaded multi-link orthotropic shell of arbitrary thickness, made of heterogeneous material (a composite). The numerical-analytical RVR method used in this work is based on the Reissner principle, Vekua method, the R-function theory, as well as the algorithm of two-way assessment of the accuracy of approximate solutions to variational problems. In contrast to the classical principles by Lagrange and Castigliano, the application of the mixed variational Reissner principle yields an increase in the accuracy of solving boundary-value problems due to the independent variation of the displacement vector and the stress tensor. Vekua method makes it possible, as a result of expanding the desired functions into a Fourier series based on Legendre polynomials, to replace a solution to the three-dimensional problem with a regular sequence of solutions to the two-dimensional problems in the process of refining the models of shells. The R-function theory that takes into consideration, at the analytical level, the geometric information on boundary-value problems for multi-relationship regions is necessary to build the structures of solutions that accurately meet different boundary conditions. When studying spatial

boundary-value problems, the constructed algorithm for a two-way integrated assessment of the accuracy of approximate solutions makes it possible to automate the search for such a number of approximations at which the process of solutions' convergence becomes persistent. For an orthotropic spherical shell made from the material of non-uniform thickness and weakened by the pole holes, the RVR-method capabilities are shown on the numerical examples of solving the relevant boundary-value problems. The results of the reported research have been discussed, as well as the features typical of the new method, which could be effectively applied when designing responsible shell-type elements of structures in the different sectors of modern industry.

Keywords: orthotropic shell of inhomogeneous thickness with holes, Reissner principle, R-function theory.

References

1. Nagle, A., Wowk, D., Marsden, C. (2020). Three-dimensional modelling of interlaminar normal stresses in curved laminate components. *Composite Structures*, 242, 112165. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112165>
2. Ahmadi, I. (2018). Three-dimensional stress analysis in torsion of laminated composite bar with general layer stacking. *European Journal of Mechanics - A/Solids*, 72, 252–267. doi: <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2018.05.003>
3. Bohlooly, M., Kulikov, G. M., Plotnikova, S. V., Kouchakzadeh, M. A. (2020). Three-dimensional stress analysis of structures in instability conditions using nonlinear displacement-based and hybrid-mixed quadrilaterals based on SaS formulation. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 126, 103540. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijnonlinmec.2020.103540>
4. Huang, S., Qiao, P. (2020). A new semi-analytical method for nonlinear stability analysis of stiffened laminated composite doubly-curved shallow shells. *Composite Structures*, 251, 112526. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112526>
5. Washizu, K. (1982). *Variational methods in elasticity and plasticity*. New York, 542.
6. Li, H., Pang, F., Gao, C., Huo, R. (2020). A Jacobi-Ritz method for dynamic analysis of laminated composite shallow shells with general elastic restraints. *Composite Structures*, 242, 112091. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112091>
7. Li, H., Cong, G., Li, L., Pang, F., Lang, J. (2019). A semi-analytical solution for free vibration analysis of combined spherical and cylindrical shells with non-uniform thickness based on Ritz method. *Thin-Walled Structures*, 145, 106443. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.106443>
8. Wang, Y., Gu, Y., Liu, J. (2020). A domain-decomposition generalized finite difference method for stress analysis in three-dimensional composite materials. *Applied Mathematics Letters*, 104, 106226. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aml.2020.106226>
9. Hii, A. K. W., Minera, S., Groh, R. M. J., Pirrera, A., Kawashita, L. F. (2019). Three-dimensional stress analyses of complex laminated shells with a variable-kinematics continuum shell element. *Composite Structures*, 229, 111405. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111405>
10. Zhgenti, V. S. (1991). Study of the stress state of isotropic thick-walled shells of nonuniform structure. *Soviet Applied Mechanics*, 27, 459–465. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00887769>
11. Khoma, I. Y. (1996). Stressed state of an inhomogeneous transversely isotropic spherical shell with a circular strip and given nonlinearly varying tangential stress. *Int. Appl. Mech.*, 32, 955–963. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02086480>

12. Vekua, I. N. (1965). Teoriya tonkih pologh obolochek peremennoy tolshchiny. Vol. 30. Tbilisi, 3–103.
13. Salo, V., Rakivnenko, V., Nechiporenko, V., Kirichenko, A., Horielyshev, S., Onopreichuk, D., Stefanov, V. (2019). Calculation of stress concentrations in orthotropic cylindrical shells with holes on the basis of a variational method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (99)), 11–17. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.169631>
14. Guo, W., Zhu, J., Guo, W. (2020). Equivalent thickness-based three dimensional stress fields and fatigue growth of part-through cracks emanating from a circular hole. *Engineering Fracture Mechanics*, 228, 106927. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2020.106927>
15. Salo, V. A. (2003). Kraevye zadachi statiki obolochek s otverstyami. Kharkiv: NTU «KhPI», 216.
16. Salo, V. A. (2000). Dokazatel'stvo dostatochnogo priznaka shodimosti metoda Rittsa dlya smeshannogo variatsionnogo printsipa Reyssnera. *Vestnik Har'kovskogo gosudarstvennogo politehnicheskogo universiteta*, 95, 70–75.
17. Salo, V. A. (2003). O dvustoronney otsenke tochnosti priblizhennykh resheniy zadach teorii obolochek, poluchennykh metodom Rittsa dlya neekstremal'nogo funktsionala Reyssnera. *Dopovidi NAN Ukrainy*, 1, 53–57.
18. Reissner, E. (1950). On a Variational Theorem in Elasticity. *Journal of Mathematics and Physics*, 29 (1-4), 90–95. doi: <https://doi.org/10.1002/sapm195029190>
19. Pramod, A. L. N., Natarajan, S., Ferreira, A. J. M., Carrera, E., Cinefra, M. (2017). Static and free vibration analysis of cross-ply laminated plates using the Reissner-mixed variational theorem and the cell based smoothed finite element method. *European Journal of Mechanics - A/Solids*, 62, 14–21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2016.10.006>
20. Faghidian, S. A. (2018). Reissner stationary variational principle for nonlocal strain gradient theory of elasticity. *European Journal of Mechanics - A/Solids*, 70, 115–126. doi: <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2018.02.009>
21. Morachkovskii, O. K., Romashov, Y. V., Salo, V. A. (2002). The Method of R-Functions in the Solution of Elastic Problems on the Basis of Reissner's Mixed Variational Principle. *International Applied Mechanics* 38, 174–180. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1015760826979>
22. Nechiporenko, V. M., Salo, V. A., Litovchenko, P. I., Kovbaska, B. V., Verkhorubov, D. O. (2016). Using of the theory of R-functions for producing a rational interference fit. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademiyi Natsionalnoi hvardiyi Ukrainy*, 2, 72–76.
23. Timoshenko, S., Woinowsky-Krieger, S. (1987). *Theory of Plates and Shells*. New York: McGraw-Hill Book Company, 580.
24. Salo, V. A. (2004). O kontsentratsii napryazheniy okolo otverstiya v uprugoy sfericheskoy obolochke. *Voprosy proektirovaniya i proizvodstva konstruktsiy letatel'nykh apparatov*, 37 (2), 66–72.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217628

SYNTHESIZING A RESONANCE ANTI-PHASE TWO-MASS VIBRATORY MACHINE WHOSE OPERATION IS BASED ON THE SOMMERFELD EFFECT (p. 42–50)

Gennadiy Filimonikhin

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

Volodymyr Yatsun

Central Ukrainian National Technical University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4973-3080>

Andrii Kyrychenko

Central Ukrainian National Technical University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4335-9588>

Andrii Hrechka

Central Ukrainian National Technical University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1188-7412>

Kyryl Shcherbyna

Central Ukrainian National Technical University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1665-7686>

This paper reports the synthesized two-mass antiphase resonance vibratory machine with a vibration exciter in the form of a passive auto-balancer. In the vibratory machine, platforms 1 and 2 are viscoelastically attached to the stationary bed and are tied together viscoelastically. A passive auto-balancer is mounted on platform 2.

It has been established that the vibratory machine has two resonant frequencies and two corresponding forms of platform oscillations. Such values for the supports' parameters have been analytically selected at which:

- there is an antiphase mode of motion at which platforms 1 and 2 oscillate in the opposite phase and the principal vector of forces acting on the bed (when disregarding the forces of gravity) is zero;
- the frequency of platform oscillations under an antiphase mode coincides with the second resonance frequency.

The antiphase mode occurs when the loads in an auto-balancer get stuck in the vicinity of the second resonance frequency, which is caused by the Sommerfeld effect.

The dynamic characteristics of a vibratory machine have been investigated by numerical methods. It has been established that in the case of small internal and external resistance forces:

- there are five theoretically possible modes of load jamming;
- the antiphase (second) form of platform oscillations is theoretically implemented under jamming modes 3 and 4;
- jamming mode 3 is locally asymptotically stable while jamming mode 4 is unstable;
- for the loads to get stuck in the vicinity of the second resonance frequency, the vibratory machine must be provided with the initial conditions close to jamming mode 3, or the rotor must be smoothly accelerated to the working frequency;
- the dynamic characteristics of the vibratory machine during operation can be controlled in a wide range by changing both the rotor speed and the number of loads in the auto-balancer.

The reported results are applicable for the design of resonant antiphase two-mass vibratory machines for general purposes.

Keywords: inertial vibration exciter, resonant vibrations, antiphase vibratory machine, auto-balancer, two-mass vibratory machine, Sommerfeld effect.

References

1. Kryukov, B. I. (1967). *Dinamika vibratsionnykh mashin rezonansnogo tipa*. Kyiv: Naukova dumka, 210.

2. Gursky, V., Kuzio, I., Korendiy, V. (2018). Optimal Synthesis and Implementation of Resonant Vibratory Systems. *Universal Journal of Mechanical Engineering*, 6 (2), 38–46. doi: <https://doi.org/10.13189/ujme.2018.060202>
3. Zhao, J., Liu, L., Song, M., Zhang, X. (2015). Influencing Factors of Anti-Resonant Inertial Resonant Machine Vibration Isolation System. 2015 3rd International Conference on Computer and Computing Science (COMCOMS). doi: <https://doi.org/10.1109/comcoms.2015.22>
4. Li, X., Shen, T. (2016). Dynamic performance analysis of non-linear anti-resonance vibrating machine with the fluctuation of material mass. *Journal of Vibroengineering*, 18 (2), 978–988. Available at: <https://www.jvejournal.com/article/16559>
5. Zhao, C., He, B., Liu, J., Han, Y., Wen, B. (2017). Design method of dynamic parameters of a self-synchronization vibrating system with dual mass. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part K: Journal of Multi-Body Dynamics*, 232 (1), 3–20. doi: <https://doi.org/10.1177/1464419316689643>
6. Shokhin, A. E., Panovko, G. Ya., Salamandra, K. B. (2016). On the choice of dynamic regimes for two-mass vibrating machine *Vibroengineering Procedia*, 8, 185–190. Available at: <https://www.jvejournal.com/article/17720>
7. Sommerfeld, A. (1904). *Beitrage zum dynamischen Ausbayer der Festigkeitslehre. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure*, 48 (18), 631–636.
8. Yaroshevich, N., Puts, V., Yaroshevich, T., Herasymchuk, O. (2020). Slow oscillations in systems with inertial vibration exciters. *Vibroengineering PROCEDIA*, 32, 20–25. doi: <https://doi.org/10.21595/vp.2020.21509>
9. Lanets, O., Shpak, Ya., Lozynskiy, I., Leonovych, P. (2013). Realizatsiya efektu Zommerfelda u vibratsiynomu maidanchyku z inertsynym pryvodom. *Avtomatyzatsiya vyrobnychychk protsesiv u mashynobuduvanni ta pryladobuduvanni*, 47, 12–28. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Avtomatyzac_2013_47_4
10. Lanets, O. S., Hurskyi, V. M., Lanets, O. V., Shpak, Ya. V. (2014). Obruntuvannya konstruktsiyi ta modeliuвання roboty rezonansnoho dvomasovoho vibrostola z inertsynym pryvodom. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika»*. *Dynamika, mitsnist ta proektuvannya mashyn i pryladiv*, 788, 28–36. Available at: <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/24646/1/6-28-36.pdf>
11. Kuzo, I. V., Lanets, O. V., Gurskyi, V. M. (2013). Synthesis of low-frequency resonance vibratory machines with an aeroinertia drive. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, 2, 60–67. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2013_2_11
12. Filimonikhin, G., Yatsun, V. (2015). Method of excitation of dual frequency vibrations by passive autobalancers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (7 (76)), 9–14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.47116>
13. Lu, C.-J., Tien, M.-H. (2012). Pure-rotary periodic motions of a planar two-ball auto-balancer system. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 32, 251–268. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2012.06.001>
14. Artyunin, A. I., Eliseyev, S. V. (2013). Effect of «Crawling» and Peculiarities of Motion of a Rotor with Pendular Self-Balancers. *Applied Mechanics and Materials*, 373-375, 38–42. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.373-375.38>
15. Jung, D., DeSmidt, H. (2017). Nonsynchronous Vibration of Planar Autobalancer/Rotor System With Asymmetric Bearing Support. *Journal of Vibration and Acoustics*, 139 (3). doi: <https://doi.org/10.1115/1.4035814>
16. Artyunin, A. I., Barsukov, S. V., Sumenkov, O. Y. (2019). Peculiarities of Motion of Pendulum on Mechanical System Engine Rotating Shaft. *Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019)*, 649–657. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22041-9_70
17. Yatsun, V., Filimonikhin, G., Dumenko, K., Nevdakh, A. (2017). Equations of motion of vibration machines with a translational motion of platforms and a vibration exciter in the form of a passive auto-balancer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (89)), 19–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.111216>
18. Yatsun, V., Filimonikhin, G., Dumenko, K., Nevdakh, A. (2017). Search for two-frequency motion modes of single-mass vibratory machine with vibration exciter in the form of passive auto-balancer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (90)), 58–66. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.117683>
19. Yatsun, V., Filimonikhin, G., Dumenko, K., Nevdakh, A. (2018). Search for the dual-frequency motion modes of a dual-mass vibratory machine with a vibration exciter in the form of passive auto-balancer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (91)), 47–54. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121737>
20. Yatsun, V., Filimonikhin, G., Haleeva, A., Krivoblotsky, L., Machok, Y., Mezitis, M. et. al. (2020). Searching for the two-frequency motion modes of a three-mass vibratory machine with a vibration exciter in the form of a passive auto-balancer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (7 (106)), 103–111. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209269>
21. Yatsun, V., Filimonikhin, G., Pirogov, V., Amosov, V., Luzan, P. (2020). Research of anti-resonance three-mass vibratory machine with a vibration exciter in the form of a passive auto-balancer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (107)), 89–97. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.213724>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217183

BUILDING A MATHEMATICAL MODEL OF THE OSCILLATIONS IN SUBWAY CARS EQUIPPED WITH ELECTROMECHANICAL SHOCK ABSORBERS (p. 51–59)

Borys Liubarskyi

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2985-7345>

Natalia Lukashova

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5556-241X>

Oleksandr Petrenko

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4027-4818>

Dmytro Iakunin

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3995-3162>

Oleh Nikonov

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8878-4318>

Olha Matsyi

Kharkiv National Automobile
and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1350-9418>

A mathematical model has been built of the subway car on two double-axle bogies with an axial characteristic of 2_0-2_0 , whose spring suspension's central link is equipped with springs and electromechanical dampers. A special feature of the model is its integration of such components as 17 differential equations of the second order, which describe the operation of the mechanical part «carriage-rail track», as well as 8 differential equations of the first order that describe the operation of 4 electromechanical shock absorbers. The model is complemented with three polynomials of orders 32 and 63 describing the state of the magnetic field of electromechanical shock absorbers and their electromagnetic force, as well as 4 algebraic coupling equations.

The mathematical model of the «carriage-rail track» system equipped with electromechanical shock absorbers takes into consideration the following components:

- the longitudinal and transverse oscillations by wheelsets of the car bogies and body;
- the parameters of a rail track;
- the electromagnetic features of electric shock absorbers;
- the excitation arising from a track irregularity;
- the path parameters, as well as the properties of other elements in a spring suspension.

This paper reports a study into the operation of a subway car's spring suspension that travels over a track with a sinusoidal irregularity. The study has established that the electromechanical processes in electric shock absorbers can be divided into three parts. The oscillation free mechanical components, free components, and the forced electromagnetic components. The duration of action, the amplitudes, and nature of the oscillations' components have been determined. The oscillation amplitude varies considerably with the increased speed: from 0.01 A and 2 V at 40 km/h up to 0.9 A and 115 V at 100 km/h. The oscillations are harmonious. The frequency of oscillations corresponds to the frequency of the track irregularity. The electric power of the electric shock absorber increases from 0.018 W at 40 km/h to 98 W at 100 km/h.

Keywords: electromechanical shock absorber, subway car, spring suspension, running gear, spatial kinematic scheme.

References

1. Serdobintsev, E. V., Han, Y. W. (2013). Vertical Oscillations of the Metro Wagon with Pneumatic Suspension. *Mir transporta*, 2, 78–84.
2. Liubarskiy, B., Lukashova, N., Petrenko, O., Yeritsyan, B., Kovalchuk, Y., Overianova, L. (2019). Procedure for modeling dynamic processes of the electromechanical shock absorber in a subway car. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (101)), 44–52. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.181117>
3. Liubarskiy, B., Lukashova, N., Petrenko, O., Pavlenko, T., Iakunin, D., Yatsko, S., Vashchenko, Y. (2019). Devising a procedure to choose optimal parameters for the electromechanical shock absorber for a subway car. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (5 (100)), 16–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.176304>
4. Serdobintsev, E. V., Zvantsev, P. N., Han, Y. (2014). Choice of parameters for a metro coach with pneumatic springs. *World of Transport and Transportation*, 1, 34–41.
5. Lukashova, N., Pavlenko, T., Liubarskiy, B., Petrenko, O. (2018). Analysis of constructions of resports lingings of rail city electric mobile composition. *Control, Navigation and Communication Systems. Academic Journal*, 5 (51), 65–68. doi: <https://doi.org/10.26906/sunz.2018.5.065>
6. Passazhirscoe vagonostroenie. Katalog. Kryukovskiy vagonostroitel'nyy zavod. Available at: <http://www.kvsz.com/images/catalogs/tsn.pdf>
7. Kolpakhch'yan, P. G., Shcherbakov, V. G., Kochin, A. E., Shaikhiev, A. R. (2017). Sensorless control of a linear reciprocating switched-reluctance electric machine. *Russian Electrical Engineering*, 88 (6), 366–371. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068371217060086>
8. Forster, N., Gerlach, A., Leidhold, R., Buryakovskiy, S., Masliy, A., Lyubarskiy, B. G. (2018). Design of a Linear Actuator for Railway Turnouts. *IECON 2018 – 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 463–470. doi: <https://doi.org/10.1109/iecon.2018.8591471>
9. Sergienko, A. N. (2013). Matematicheskaya model' kolebaniy v hodovoy sisteme avtomobilya s elektromagnitnym dempfirovaniem. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. Seriya: Transportne mashynobuduvannya, 31 (1004), 86–93.
10. Gysen, B. L. J., van der Sande, T. P. J., Paulides, J. J. H., Lomonova, E. A. (2011). Efficiency of a Regenerative Direct-Drive Electromagnetic Active Suspension. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 60 (4), 1384–1393. doi: <https://doi.org/10.1109/tvt.2011.2131160>
11. Sulym, A. O., Fomin, O. V., Khozia, P. O., Mastepan, A. G. (2018). Theoretical and practical determination of parameters of on-board capacitive energy storage of the rolling stock. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 5, 79–87. doi: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-5/8>
12. Vaskovskiy, Yu. M., Poda, M. V. (2020). Energy efficiency assessment for energy recovery systems of mechanical vibrations of vehicles. *Bulletin of the National Technical University «KhPI»*. Ser.: Electrical Machines and Electromechanical Energy Conversion, 3 (1357), 52–55. doi: <https://doi.org/10.20998/2409-9295.2020.3.09>
13. Nikonov, O., Kyrychenko, I., Shuliakov, V. (2020). Simulation modeling of external perturbations affecting wheeled vehicles of special purpose. *Proceedings of The Third International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2020)*. Zaporizhzhia, 547–556. Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-2608/paper42.pdf>
14. Uspenskiy, B., Avramov, K., Liubarskiy, B., Andrieiev, Y., Nikonov, O. (2019). Nonlinear torsional vibrations of electromechanical coupling of diesel engine gear system and electric generator. *Journal of Sound and Vibration*, 460, 114877. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2019.114877>
15. Savos'kin, A. N., Serdobintsev, E. V., Ibraev, B. M. (2009). Kolebaniya vagona rel'sovogo avtobusa. *Mir transporta*, 1, 50–55.
16. Ruban, V. G., Matva, A. M. (2009). Reshenie zadach dinamiki zheleznodorozhnykh ekipazhey v pakete Mathcad. *Rostov-na-Donu*, 100.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217159

DETERMINING OF THE INFLUENCE OF REACTOR PARAMETERS ON THE UNIFORMITY OF MIXING SUBSTRATE COMPONENTS (p. 60–70)

Gennadii Golub

National University of Life and
Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2388-0405>

Mykola Trehub

Bila Tserkva National Agrarian University,
Bila Tserkva, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6558-0040>

Anna Holubenko

Zhytomyr National Agroecological University,
Zhytomyr, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5018-5312>

Nataliya Tsyvenkova

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

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1703-4306>

Viacheslav Chuba

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

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4119-0520>

Marina Tereshchuk

Zhytomyr National Agroecological University,
Zhytomyr, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3020-4528>

One of the issues related to the fermentation of substrates made from biological raw materials in drum-type reactors is the difficulty of ensuring uniform mixing of their components, which adversely affects the quality of the compost produced.

Uniform mixing is achieved if the components of the material are fully dispersed at the free surface of the substrate segment. It was established that in order to fully disperse the particles of the substrate by a descending flow, it is necessary that the particles, which last fall from the blade, should reach the contact point of the drum's shell and the free surface of the substrate. To describe the established conditions, a mathematical model has been built, which links the equation of the boundary of the blockage of substrate particles in the drum and their fall along a parabolic trajectory. The equations are given to determine the kinematic parameters of the mixing process, provided that the substrate particles are dispersed in the transverse and longitude cross-sections of the drum.

The result of solving the differential equations is the equation of the linear speed of particle movement on the curved surface of the drum blade at which their full dispersal at the free surface of the substrate segment is achieved.

In order to conduct this research, an experimental drum reactor was designed and manufactured. It was experimentally determined at which humidity values of the substrate and the angular velocity of the reactor drum the uniformity of the distribution of components in the substrate reaches maximum values while the resulting compost meets the acting requirements in terms of microbiological indicators. The adequacy of the mathematical model to the experimental data has been confirmed.

The reported results are important because knowing the physicochemical properties of the substrate makes it possible to set such parameters of the process and equipment at which the high uniformity of mixing of substrate components is ensured, which affects the compost quality.

Keywords: linear speed, uniformity of mixing, blade, friction coefficient, substrate humidity, fermentation.

References

- Ryabchenko, O., Golub, G., Turčeková, N., Adamičková, I., Zapototskyi, S. (2017). Sustainable business modeling of circular agriculture production: case study of circular bio-economy. *Journal of Security and Sustainability Issues*, 7 (2), 301–309. doi: [https://doi.org/10.9770/jssi.2017.7.2\(10\)](https://doi.org/10.9770/jssi.2017.7.2(10))
- Chia, W. Y., Chew, K. W., Le, C. F., Lam, S. S., Chee, C. S. C., Ooi, M. S. L., Show, P. L. (2020). Sustainable utilization of biowaste compost for renewable energy and soil amendments. *Environmental Pollution*, 267, 115662. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115662>
- Golub, G., Pavlenko, S., Kukharets, S. (2017). Analytical research into the motion of organic mixture components during formation of compost clumps. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (1 (87)), 30–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101097>
- Geethamani, R., Soundara, B., Kanmani, S., Jayanthi, V., Subaharini, T. R., Sowbiyalakshmi, V., Sowmini, C. (2020). Production of cost affordable organic manure using institutional waste by rapid composting method. *Materials Today: Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.803>
- Kalamdhad, A. S., Pasha, M., Kazmi, A. A. (2008). Stability evaluation of compost by respiration techniques in a rotary drum composter. *Resources, Conservation and Recycling*, 52 (5), 829–834. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2007.12.003>
- Liu, Z., Wang, X., Wang, F., Bai, Z., Chadwick, D., Missetbrook, T., Ma, L. (2020). The progress of composting technologies from static heap to intelligent reactor: Benefits and limitations. *Journal of Cleaner Production*, 270, 122328. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122328>
- Arora, S., Rani, R., Ghosh, S. (2018). Bioreactors in solid state fermentation technology: Design, applications and engineering aspects. *Journal of Biotechnology*, 269, 16–34. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2018.01.010>
- Vechera, O., Tereshchuk, M., Chuba, V., Tsyvenkova, N. (2020). Investigation of aerobic solid fraction fermentation process parameters for organic material. 19th International Scientific Conference Engineering for Rural Development Proceedings, 1450–1455. doi: <https://doi.org/10.22616/erdev.2020.19.tf363>
- Zhi-Qiang, X., Guo-Xing, W., Zhao-Chen, H., Lei, Y., Ya-Mei, G., Yan-Jie, W. et. al. (2017). Effect of Aeration Rates on the Composting Process and Loss of Nitrogen during Composting. *Applied Environmental Biotechnology*, 2 (1), 1. doi: <https://doi.org/10.26789/aeb.2015.01.003>
- Kausar, H., Pal, S., Haq, I., Khwairakpam, M. (2020). Evaluation of rotary drum composting for the management of invasive weed *Mikania micrantha* Kunth and its toxicity assessment. *Bioresource Technology*, 313, 123678. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123678>
- Alkokaik, F., Abdel-Ghany, A., Rashwan, M., Fulleros, R., Ibrahim, M. (2018). Energy Analysis of a Rotary Drum Bioreactor for Composting Tomato Plant Residues. *Energies*, 11 (2), 449. doi: <https://doi.org/10.3390/en11020449>
- Golub, G., Myhailovych, Y., Achkevych, O., Chuba, V. (2019). Optimization of angular velocity of drum mixers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (99)), 64–72. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.166944>
- Varma, V. S., Das, S., Sastri, C. V., Kalamdhad, A. S. (2017). Microbial degradation of lignocellulosic fractions during drum composting of mixed organic waste. *Sustainable Environment Research*, 27 (6), 265–272. doi: <https://doi.org/10.1016/j.serj.2017.05.004>

14. Jain, M. S., Kalamdhad, A. S. (2019). Drum composting of nitrogen-rich *Hydrilla Verticillata* with carbon-rich agents: Effects on composting physics and kinetics. *Journal of Environmental Management*, 231, 770–779. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.111>
15. Discrete numerical model for granular assemblies (1979). *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 16 (4), 77. doi: [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(79\)91211-7](https://doi.org/10.1016/0148-9062(79)91211-7)
16. Rong, W., Li, B., Feng, Y., Schwarz, P., Witt, P., Qi, F. (2020). Numerical analysis of size-induced particle segregation in rotating drums based on Eulerian continuum approach. *Powder Technology*, 376, 80–92. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.07.101>
17. Zhang, Z., Gui, N., Ge, L., Li, Z. (2017). Numerical study of mixing of binary-sized particles in rotating tumblers on the effects of end-walls and size ratios. *Powder Technology*, 314, 164–174. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.09.072>
18. Ma, H., Zhao, Y. (2018). Investigating the flow of rod-like particles in a horizontal rotating drum using DEM simulation. *Granular Matter*, 20 (3). doi: <https://doi.org/10.1007/s10035-018-0823-0>
19. Verigin, Yu. A. (1989). Termodinamicheskiiy analiz protsesa smeseobrazovaniya betonov i drugih dispersnyh sistem. Tez. dokl. Vsesoyuzn. konf. «Fundamental'nye issledovaniya i novye tehnologii v stroitel'nom materialovedenii». Ch. 6. Belgorod: BTISM, 72–73.
20. Hou, Z., Zhao, Y. (2020). Numerical and experimental study of radial segregation of bi-disperse particles in a quasi-two-dimensional horizontal rotating drum. *Particology*, 51, 109–119. doi: <https://doi.org/10.1016/j.partic.2019.09.006>
21. Brandao, R. J., Lima, R. M., Santos, R. L., Duarte, C. R., Barrozo, M. A. S. (2020). Experimental study and DEM analysis of granular segregation in a rotating drum. *Powder Technology*, 364, 1–12. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.01.036>
22. Li, S., Yao, Q., Chen, B., Zhang, X., Ding, Y. L. (2007). Molecular dynamics simulation and continuum modelling of granular surface flow in rotating drums. *Chinese Science Bulletin*, 52 (5), 692–700. doi: <https://doi.org/10.1007/s11434-007-0069-4>
23. Santos, D. A., Dadalto, F. O., Scatena, R., Duarte, C. R., Barrozo, M. A. S. (2015). A hydrodynamic analysis of a rotating drum operating in the rolling regime. *Chemical Engineering Research and Design*, 94, 204–212. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2014.07.028>
24. Yari, B., Beaulieu, C., Sauriol, P., Bertrand, F., Chaouki, J. (2020). Size segregation of bidisperse granular mixtures in rotating drum. *Powder Technology*, 374, 172–184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.07.030>
25. Liu, Y., Gonzalez, M., Wassgren, C. (2019). Modeling granular material segregation using a combined finite element method and advection-diffusion-segregation equation model. *Powder Technology*, 346, 38–48. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.01.086>
26. Chou, S. H., Yang, F. C., Hsiau, S. S. (2019). Influence of interstitial fluid viscosity and particle size on creeping granular flow in a rotating drum. *International Journal of Multiphase Flow*, 113, 179–190. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2019.01.012>
27. Zhang, L., Jiang, Z., Weigler, F., Herz, F., Mellmann, J., Tsotsas, E. (2020). PTV measurement and DEM simulation of the particle motion in a flighted rotating drum. *Powder Technology*, 363, 23–37. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.12.035>
28. GOST 27640-88. Engineering materials and lubricants. Methods of experimental evaluation of friction coefficient. Moscow: Izdatel'stvo standartov na NPU, 22.
29. Hrabar, I. H., Hrabar, O. I., Hutnichenko, O. A., Kubrak, Yu. O. (2007). Perkoliatsiyno-fraktalni materialy: vlastyvoli, tekhnolohiyi, zastosuvannia. Zhytomyr: ZhDTU, 354.
30. Popov, V. L. (2013). Mehanika kontaktnogo vzaimodeystviya i fizika treniya. Ot nanotribologii do dinamiki zemletryasenyi. Moscow: Fizmatlit, 352.
31. Vasylykovskiy, O., Leshchenko, S., Vasylykovska, K., Petrenko, D. (2016). Pidruchnyk doslidnyka. Kirovohrad, 204.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217747
DETERMINING THE REGIONS OF STABILITY IN THE MOTION REGIMES AND PARAMETERS OF VIBRATORY MACHINES FOR DIFFERENT TECHNOLOGICAL PURPOSES (p. 71–79)

Ivan Nazarenko

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1888-3687>

Oleg Dedov

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5006-772X>

Iryna Bernyk

Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1367-3058>

Ivan Rogovskii

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

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6957-1616>

Andrii Bondarenko

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4594-6399>

Andrii Zapryvoda

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

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

Volodymyr Slipetskyi

Corporation «DBK-ZHYTLOBUD», Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9539-6022>

Liudmyla Titova

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

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7313-1253>

This paper reports a study into the movement of vibratory machines for various technological purposes that determined their stable zones. These zones warrant that the predetermined parameters of energy saving and energy-efficient mode are maintained. The structural scheme of energy transmission within the elements of a vibratory machine has been built. It is common for any design of the vibratory

machine and its operating modes. The machine estimation scheme has been constructed taking into consideration a technological load, which is a certain manufacturing environment or a material subject to processing based on the appropriate technology. Underlying the motion equations built is a substantiated discrete-continual model of the vibratory machine and processing environment. The estimation scheme takes into consideration possible structural solutions for a vibratory machine whose movement modes are harmonious or impact-vibrational. The adopted scheme is a resonance vibration-impact system. This study into the movement and establishing the zones of stability has been adapted to simpler and more complex systems by reducing a combined discrete-continual model to the discrete one. The result reveals a qualitative pattern of the vibratory machine movement ensuring the specified mode of its operation. It was found that at the predefined frequency of impacts and weight of a working body, the efficiency of the impact-vibratory machine is determined by the impact speed. The distribution of the basic parameters of such vibration systems has been estimated; stability cards for different zones have been built.

This very approach opens up new possibilities for designing highly efficient vibration equipment. A stable resonance mode makes it possible to significantly reduce the energy cost of the manufacturing process and warrant the rational parameters of vibratory machine operation specified by the technology. The results obtained were applied for the development of methods for calculating and constructing a new class of vibratory machines that implement appropriate energy-saving stable zones of the workflow.

Keywords: vibratory machine, discrete and continual models, modes, parameters, stability zones.

References

- Nazarenko, I., Svidersky, A., Kostenyuk, A., Dedov, O., Kyzminec, N., Slipetskyi, V. (2020). Determination of the workflow of energy-saving vibration unit with polyphase spectrum of vibrations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (103)), 43–49. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.0.184632>
- Nesterenko, M. P. (2015). Prohresyvnny rozvytok vibratsiynykh ustanovok z prostorovymy kolyvanniamy dlia formulivannia zalizobetonnykh vyrobiv. *Zbirnyk naukovykh prats. Ser.: Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo*, 2 (44), 16–23.
- Maslov, A. G., Salenko, J. S., Maslova, N. A. (2011). Study of interaction of vibrating plate with concrete mixture. *Visnyk KNU imeni Mykhaila Ostrohradskoho*, 2 (67), 93–98.
- Jia, Y., Seshia, A. A. (2014). An auto-parametrically excited vibration energy harvester. *Sensors and Actuators A: Physical*, 220, 69–75. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2014.09.012>
- Ryabov, I. M., Chernyshov, K. V., Pozdeev, A. V. (2017). Vibroprotective and Energetic Properties of Vehicle Suspension with Pendular Damping in a Single-Mass Oscillating System. *Procedia Engineering*, 206, 519–526. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.510>
- Bernyk, I. (2019). Theoretical investigations of the interaction of acoustic apparatus with technological environment working process. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, 1 (4), 32–37. doi: <https://doi.org/10.15199/48.2019.04.06>
- Lanets, O. (2019). Substantiation of consolidated inertial parameters of vibrating bunker feeder. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, 1 (4), 49–54. doi: <https://doi.org/10.15199/48.2019.04.09>
- Bernyk, I., Luhovskyi, O., Nazarenko, I. (2018). Effect of rheological properties of materials on their treatment with ultrasonic cavitation. *Materials in Tehnologije*, 52 (4), 465–468. doi: <https://doi.org/10.17222/mit.2017.021>
- Karamooz Mahdiabadi, M., Tiso, P., Brandt, A., Rixen, D. J. (2021). A non-intrusive model-order reduction of geometrically nonlinear structural dynamics using modal derivatives. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 147, 107126. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2020.107126>
- Blekhman, I. I., Sorokin, V. S. (2016). Extension of the Method of Direct Separation of Motions for Problems of Oscillating Action on Dynamical Systems. *Procedia IUTAM*, 19, 75–82. doi: <https://doi.org/10.1016/j.piutam.2016.03.011>
- Albu-Schäffer, A., Della Santina, C. (2020). A review on nonlinear modes in conservative mechanical systems. *Annual Reviews in Control*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2020.10.002>
- Carboni, B., Lacarbonara, W. (2016). Nonlinear Vibration Absorber with Pinched Hysteresis: Theory and Experiments. *Journal of Engineering Mechanics*, 142 (5), 04016023. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)em.1943-7889.0001072](https://doi.org/10.1061/(asce)em.1943-7889.0001072)
- Solovyov, A. M., Semenov, M. E., Meleshenko, P. A., Reshetova, O. O., Popov, M. A., Kabulova, E. G. (2017). Hysteretic nonlinearity and unbounded solutions in oscillating systems. *Procedia Engineering*, 201, 578–583. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.634>
- Semenov, M. E., Meleshenko, P. A., Solovyov, A. M., Semenov, A. M. (2015). Hysteretic Nonlinearity in Inverted Pendulum Problem. *Structural Nonlinear Dynamics and Diagnosis*, 463–506. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-19851-4_22
- Nesterenko, M., Maslov, A., Salenko, J. (2018). Investigation of Vibration Machine Interaction With Compacted Concrete Mixture. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.2), 260. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14416>
- Peng, Z., Zhou, C. (2014). Research on modeling of nonlinear vibration isolation system based on Bouc–Wen model. *Defence Technology*, 10 (4), 371–374. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2014.08.001>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.218551

КІНЕМАТИЧНИЙ І КІНЕТОСТАТИЧНИЙ АНАЛІЗ ШЕСТИЛАНКОВОГО ПРЯМОЛІНІЙНО-НАПРАВЛЯЮЧОГО ПЕРЕТВОРЮЮЧОГО МЕХАНІЗМУ НЕВРІВНОВАЖЕНОГО ПРИВОДУ ШТАНГОВОГО ГЛИБИННОГО НАСОСА (с. 6–13)

Rakhmatulina Ayaulym, Ibrayev Sayat, Imanbayeva Nurbibi, Ibrayeva Arman, Tolebayev Nurzhan

У даній роботі представлені результати кінематичного і силового аналізу нового шестиланкового перетворюючого механізму приводу штангового глибинного насоса (ПШГН) і обґрунтовані переваги альтернативної конструкції. Використання прямолінійно-направляючого механізму дозволяє істотно знизити габарити перетворюючого механізму і металоємність в порівнянні з традиційно застосовуваними ПШГН з хитним балансиrom і кривошипною противагою, перш за все за рахунок виключення складної дугової головки (так званої «головки балансира») існуючих агрегатів. Однак для забезпечення працездатності неврівноваженого механізму необхідно вивчити кінематичні і силові характеристики. Результати математичного моделювання шестиланкового механізму підтверджують якісні переваги прямолінійного генератора. В результаті дослідження прямолінійно-направляючого механізму як перетворюючого механізму приводу штангових глибинних насосних агрегатів були визначені закономірності руху ланок, положення, швидкість і прискорення всіх точок. Для вирішення задачі кінематичного аналізу використовувався метод замкнутих векторних контурів, що дозволяє визначити функції положення ланок і аналоги швидкостей і прискорень. При вирішенні завдання міцнісного аналізу враховувалася рівновага кожної ланки. В результаті силового аналізу, шляхом спільного вирішення рівнянь рівноваги ланок шестиланкового шарнірно-важільного механізму, визначені реакції шарнірів механізму. Розроблена комп'ютерна модель для вивчення кінематики і кінестатики перетворюючого механізму приводу штангового глибинного насосного агрегату.

Ключові слова: привід штангового глибинного насоса, перетворюючий механізм, прямолінійний генератор, кривошип, балансиr, кінематичний аналіз, силовий аналіз.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217845

АНАЛІЗ НАПРУГ ЗАТИСНУТИХ КРОМОК В СТАЛІ Н-13 (с. 14–20)

Carlos de la Cruz Alejo, Christopher R. TorresSan-Miguel, Juan C. Paredes Rojas, Fernando E. Ortiz Hernández

Динамічна поведінка при напруженні затиснутих кромок конструкції досі недостатньо вивчена; крім того, затиснуті конструкції пов'язані з невизначеністю. У даній роботі представлено чисельне і аналітичне дослідження напруженого стану затиснутих кромок під дією навантаження, створюваного стружкорізним інструментом на заготовку. Проаналізовано затискну систему, виготовлену зі сталі Н-13 і оброблювану заготовку зі сталі AISI 8620. Максимальне напруження затиснутих кромок аналізується за допомогою динамічної характеристики, розглядаючи оброблювану деталь як консольну балку, за допомогою визначальних співвідношень, а також рівнянь сумісності. Центральне диференціальне рівняння руху приводить нас до визначення модальних напружень, які є основною характеристикою конструкції і які також розподіляються в ній. Після визначення модального напруження, а також максимальної амплітуди на вільному кінці оброблюваного зразка можна розрахувати максимальне напруження затиснутих кромок, що виникає між зразком і затискною системою. Нарешті, виконується чисельний аналіз затискної губки для дискретизованої системи і аналізується окремо з використанням методу скінчених елементів. Напруження затиснутих кромок оцінюються за допомогою модального дослідження з використанням набору чисельного моделювання для підтвердження аналітично оціненого модального напруження. Отримані результати показують, що напруження затиснутих кромок в затискній системі значно впливає на конструктивні параметри конструкції. Тому повне знання динамічних характеристик затискної системи призведе до поліпшення проектування конструкцій з можливістю використання різних матеріалів для однієї і тієї ж мети.

Ключові слова: напруження затиснутих кромок, модальний аналіз, динамічна характеристика, затискна система, модальні напруження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217162

ВИЯВЛЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІКИ ТА МІЦНОСТІ КРИТОГО ВАГОНА, ЯКИЙ ВИЧЕРПАВ СВІЙ РЕСУРС (с. 21–29)

О. В. Фомін, А. О. Ловська

Проведено обґрунтування подовження строку служби критого вагона, який вичерпав свій нормативний ресурс експлуатації. При цьому до уваги прийняті дійсні величини зносів елементів несучої конструкції, зафіксовані в експлуатації. Проведені розрахунки показали, що проектний строк служби несучої конструкції критого вагона з урахуванням подовження експлуатації складає не менше 2 років.

Для визначення динамічної навантаженості несучої конструкції критого вагона проведено математичне моделювання. Встановлено, що максимальні прискорення, які діють на несучу конструкцію критого вагона складають 42 м/с^2 .

З метою визначення полів розподілення прискорень відносно несучої конструкції критого вагона проведено комп'ютерне моделювання. Проведені розрахунки показали, що максимальне прискорення складає $43,2 \text{ м/с}^2$ та зосереджено в середній частині хребтової балки. Для верифікації моделей динамічної навантаженості використаний F-критерій.

Визначено максимальні еквівалентні напруження несучої конструкції критого вагона з урахуванням зносів його складових. Встановлено, що максимальні еквівалентні напруження виникають в зоні взаємодії хребтової балки зі шворневою та складають 344 МПа . Тобто максимальні еквівалентні напруження не перевищують допустимі.

Розраховано основні динамічні показники критого вагона. Максимальні прискорення, які діють на несучу конструкцію критого вагона в центрі мас, склали близько 5 м/с^2 . Прискорення кузова в зонах спирання на візки склали близько 6 м/с^2 . Хід руху вагона оцінюється як «добрий».

Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності перевізного процесу, а також функціонуванню залізничного транспорту.

Ключові слова: ресурс експлуатації, залишковий ресурс, подовження ресурсу, технічний стан, міцність конструкції, напружений стан.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217193

ОПТИМІЗАЦІЯ ПОНТОНА КОМПОЗИТНОГО ДОКУ ПРИ ЗМІНІ ВІДНОШЕННЯ ДОВЖИНИ СТОРІН ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПЛИТИ (с. 30–35)

О. В. Щедролюєв, Л. І. Коростильов, С. Ю. Клименков, К. В. Кириченко

В статті розглядається місцева міцність плит залізобетонного понтону композитного плавучого доку при рівномірному гідростатичному навантаженні. Застосовано уточнений підхід до розрахунку залізобетонних плит, враховуючий різницю механічних характеристик бетону при роботі на розтягання і на стискання.

Встановлено протяжність зони впливу закріплення на стискання і розтягання бетону, яка складає $0,22$ довжини короткої сторони прямокутної плити. Для цього проведено попередні розрахунки напружень в плитах, виготовлених з некомпозитного однорідного матеріалу при різних величинах товщини і відношень довжин сторін пластин.

Розроблено скінченно-елементну модель залізобетонної плити з армуючими елементами в поздовжньому і поперечному напрямках. В моделі враховані відмінності механічних характеристик, що задаються окремо для стиснутих і розтягнутих областей бетону.

Виконано розрахунки напружено-деформованого стану прямокутних залізобетонних плит для випадку повного занурення понтону на тихій воді під дією рівномірного гідростатичного тиску, без урахування можливих динамічних навантажень. При моделюванні пластин днища довжина більшої сторони опорного контуру прийнята рівною відстані між поздовжніми стінками, виходячи з конструктивних розмірів доку. Довжина короткої сторони варіювалася кратно до поздовжньої шпаци, що дозволили отримати дані для широкого діапазону відношень довжин сторін від $3,3$ до 1 , найбільш характерного для суднових конструкцій. Стиснені і розтягнуті ділянки бетону моделювались окремо з механічними характеристиками міцності і жорсткості відповідними до матеріалів, що застосовуються при побудові плавучих доків.

Побудовані графіки залежності максимальних напружень в бетоні та армуванні плити від довжини короткої сторони опорного контуру. Це дозволило визначити оптимальну ширину плити, яка дорівнює 3 м для розгляданої конструкції при заданих навантаженнях.

Застосований підхід дозволяє оптимізувати розміри подібних конструкцій з точки зору ваги та матеріалоемності.

Ключові слова: плавучий композитний док, залізобетонні секції, понтон, міцність, залізобетонна плита, скінченно-елементне моделювання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217091

РОЗРАХУНОК НЕОДНОРІДНИХ ЗА ТОВЩИНОЮ СФЕРИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ З ОТВОРАМИ НА ОСНОВІ ВАРІАЦІЙНОГО RVR-МЕТОДУ (с. 36–42)

В. А. Сало, В. М. Нечипоренко, В. П. Раківненко, С. А. Горелишев, Н. В. Глейзер, О. В. Кебко

Запропоновано теоретично обґрунтований й універсальний новий метод розрахунку тривимірного напружено-деформованого стану статично навантаженої багатозв'язної ортотропної оболонки довільної товщини, виготовленої з неоднорідного матеріалу (композиту). Чисельно-аналітичний метод RVR-метод, що використовується в роботі, заснований на принципі Рейсснера, методі І. М. Векуа та алгоритмі двосторонньої оцінки точності наближених рішень варіаційних задач. На відміну від класичних принципів Лагранжа і Кастільяно, застосування змішаного варіаційного принципу Рейсснера призводить до підвищення точності рішення крайових задач в силу незалежного варіювання вектора переміщень і тензора напружень. Метод І. М. Векуа в результаті розкладання шуканих функцій у ряди Фур'є по поліномах Лежандра дозволяє замінити рішення тривимірної задачі регулярною послідовністю рішень двовимірних задач в процесі уточнення моделей оболонок. Теорія R-функцій, що на аналітичному рівні враховує геометричну інформацію крайових задач для багатозв'язних областей, необхідна для побудови структур розв'язків, які точно задовольняють різним варіантам граничних умов. При дослідженні просторових крайових задач розроблений алгоритм двосторонньої інтегральної оцінки точності наближених розв'язків дозволяє автоматизувати пошук такої кількості апроксимацій, при якому процес збіжності розв'язків набуває стійкого характеру. Для послабленої полюсними отворами ортотропної сферичної оболонки з неоднорідного за

товщиною матеріалу можливості RVR-методу показані в чисельних прикладах розв'язання відповідних крайових задач. Обговорено результати виконаних досліджень, а також особливості, що характерні для нового методу, який може знайти ефективне застосування при проектуванні відповідальних оболонкових елементів конструкцій в різних галузях сучасної техніки.

Ключові слова: неоднорідна за товщиною ортотропна оболонка з отворами, принцип Рейсснера, теорія R-функцій.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217628

СИНТЕЗ РЕЗОНАНСНОЇ ПРОТИВОФАЗНОЇ ДВОМАСОВОЇ ВІБРОМАШИНИ, ЩО ПРАЦЮЄ НА ЕФЕКТИ ЗОМЕРФЕЛЬДА (с. 42–50)

Г. Б. Філімоніхін, В. В. Яцун, А. М. Кириченко, А. І. Гречка, К. К. Щербина

Синтезована двомасова протифазна резонансна вібромашина з вібробуджувачем у вигляді пасивного автобалансира. У вібромашини платформи 1 і 2 пружно-в'язко прикріплені до нерухомої станини і пружно-в'язко пов'язані між собою. На другу платформу встановлений пасивний автобалансир.

Встановлено, що у вібромашини дві резонансні частоти і дві відповідні форми коливань платформ. Аналітично підібрані такі значення параметрів опор, при яких:

- існує протифазний режим руху, на якому платформи 1 і 2 коливаються в протифазі і головний вектор сил, що діють на станину (при неврахуванні сил тяжіння) дорівнює нулю;
- частота коливань платформ в протифазному режимі збігається з другою резонансною частотою.

Протифазний режим настає при застряганні вантажів автобалансира в околі другої резонансної частоти, що викликано ефектом Зомерфельда. Чисельними методами досліджені динамічні характеристики вібромашини. Встановлено, що в разі малих внутрішніх і зовнішніх сил опору:

- теоретично існують п'ять можливих режимів застрягання вантажів;
- протифазна (друга) форма коливань платформ теоретично реалізується на 3-му і 4-му режимах застрягання;
- локально асимптотично стійким є 3-й режим застрягання, а 4-й – нестійкий;
- для застрягання вантажів в околі другої резонансної частоти потрібно забезпечувати вібромашині початкові умови, близькі до 3-го режиму застрягання або плавно розганяти ротор до робочої частоти;
- динамічними характеристиками вібромашини в процесі експлуатації можна управляти в широких межах зміною як швидкості обертання ротора, так і кількості вантажів в автобалансирі.

Отримані результати застосовні для проектування резонансних протифазних двомасових вібромашин широкого застосування.

Ключові слова: інерційний вібробудник, резонансні вібрації, протифазна вібромашина, автобалансир, двомасова вібромашина, ефект Зомерфельда.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217183

РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КОЛИВАНЬ ВАГОНУ МЕТРОПОЛІТЕНУ З ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМИ АМОРТИЗАТОРАМИ (С. 51–59)

Б. Г. Любарський, Н. П. Лукашова, О. М. Петренко, Д. І. Якунін, О. Я. Ніконов, О. Б. Мацій

Розроблено математичну модель вагону метрополітену на двох двовісних візках з осьювою характеристикою 2_0-2_0 , в центральному ступені ресорного підвішування якого використані пружини і електромеханічні гасителі. Особливістю моделі є те, що вона містить наступні складові. 17 диференціальних рівнянь другого порядку, які описують роботу механічної частини екіпаж-рейкова колія. 8 диференціальних рівнянь першого порядку, які описують роботу 4-х електромеханічних амортизаторів. Модель доповнено трьома поліномами 32 та 63 порядків, які описують стан магнітного поля електромеханічних амортизаторів та їх електромагнітну силу, а також 4 алгебраїчними рівняннями зв'язку.

У математичній моделі системи екіпаж-рейкова колія з електромеханічними амортизаторами враховано наступні складові:

- повздовжні та поперечні коливання колісних пар візків та кузову вагону;
- параметри рейкової колії;
- електромагнітні особливості електроамортизаторів;
- збудження, що виникають завдяки нерівності колії;
- параметри шляху, властивості інших елементів ресорного підвішування.

Проведено дослідження роботи ресорного підвішування вагону метрополітену при проходженні шляху з синусоїдальною нерівністю. За цим дослідженням визначено, що електромеханічні процеси в електроамортизаторах можливо поділити на три частини. Вільні механічні складові коливань, вільні, а також вимушені електромагнітні складові. Визначено тривалість дії, амплітуди та характер складових коливань. Амплітуда коливань значно змінюється з ростом швидкості руху: з 0,01 А та 2 В при 40 км/год. до 0,9 А та 115 В при 100 км/год. Коливання носять гармонійний характер. Частота коливань відповідає частоті нерівності шляху. Електрична потужність електроамортизатора збільшується з 0,018 Вт при 40 км/год до 98 Вт при 100 км/год.

Ключові слова: електромеханічний амортизатор, метровагон, ресорне підвішування, ходова частина, просторова кінематична схема.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217159**ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ РЕАКТОРА НА РІВНОМІРНІСТЬ ЗМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ СУБСТРАТУ (с. 60–70)****Г. А. Голуб, М. І. Трегуб, А. А. Голубенко, Н. М. Цивенкова, В. В. Чуба, М. Б. Терещук**

Однією з проблем зброджування субстратів з біосировини в реакторах барабанного типу є складність забезпечення рівномірності змішування їх компонентів, що негативно впливає на якість виробленого компосту.

Рівномірне змішування досягається за умови повного розосередження компонентів матеріалу по вільній поверхні сегменту субстрату. Встановлено, що для повного розосередження частинок субстрату спадаючим потоком потрібно щоб частинки, які в останню чергу спадають з лопаті, досягали точки сполучення обичайки барабана та вільної поверхні субстрату. Для опису встановлених умов створено математичну модель, яка поєднує рівняння межі завалу частинок субстрату у барабані та їх падіння за параболічною траєкторією. Представлено рівняння для визначення кінематичних параметрів процесу змішування за умови розсіювання частинок субстрату в поперечному та повздовжньому перерізах барабану.

В результаті розв'язку диференціальних рівнянь отримано рівняння лінійної швидкості руху частинок по криволінійній поверхні лопаті барабану, при якій матиме місце їх повне розосередження по вільній поверхні сегменту субстрату.

З метою проведення досліджень сконструйовано та виготовлено експериментальний реактор барабанного типу. Експериментально визначено, при яких значеннях вологості субстрату та кутовій швидкості барабана реактора рівномірність розподілу компонентів в субстраті досягає максимальних значень, а отримані компости відповідають існуючим вимогам щодо мікробіологічних показників. Підтверджено адекватність математичної моделі експериментальним даним.

Представлені результати є важливими, оскільки, знаючи фізико-хімічні властивості субстрату, можна задати такі параметри процесу і обладнання, при яких забезпечується висока рівномірність змішування компонентів субстрату, від чого залежить якість компосту.

Ключові слова: лінійна швидкість, рівномірність змішування, лопать, коефіцієнт тертя, вологість субстрату, зброджування.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217747**ВИЗНАЧЕННЯ ЗОН СТІЙКОСТІ РЕЖИМІВ І ПАРАМЕТРІВ РУХУ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН РІЗНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ (с. 71–79)****І. І. Назаренко, О. П. Дєдов, І. М. Берник, І. Л. Роговський, А. Є. Бондаренко, А. В. Запривода, В. В. Сліпецький, Л. Л. Тітова**

Досліджено рух вібраційних машин різного технологічного призначення та встановлені стійкі зони. Ці зони гарантують забезпечення наперед заданих параметрів енергоощадного та енергоефективного режиму. Розроблена структурна схема передачі енергії в елементах вібраційної машини. Вона є загальною для будь-якої конструкції вібраційної машини та її режимів роботи. Створена розрахункова схема машини із урахуванням технологічного навантаження, яким є певне технологічне середовище чи матеріал, що підлягають, передбачуваний відповідною технологією, обробці. Складені рівняння руху на основі обґрунтованої дискретно-континуальної моделі вібраційної машини та оброблювального середовища. Розрахункова схема враховує можливі конструктивні рішення вібраційної машини із гармонійним та із ударно-вібраційним режимом руху. Прийнята схема представляє собою резонансну віброударну систему. Дослідження руху та встановлення стійких зон адаптовано до простих та більш складних систем редукування змішаної дискретно-континуальної моделі до дискретної. Цей результат розкриває якісну картину руху вібраційної машини із забезпеченням заданого режиму її роботи. Виявлено, що при заданих частоті ударів і масі робочого органу ефективність ударно-вібраційної машини визначається ударною швидкістю. Здійснена оцінка розподілу основних параметрів таких вібраційних систем та побудовані карти стійкості для різних зон.

Саме такий підхід відкриває нові можливості створення високоефективної вібраційної техніки. Стійкий резонансний режим дозволяє значно знизити витрати енергії на протікання технологічного процесу та гарантувати задані технологією раціональні параметри роботи вібраційної машини. Отримані результати використані при розробці методів розрахунку та створенні нового класу вібраційних машин, що реалізують відповідні енергоощадні стійкі зони робочого процесу.

Ключові слова: вібраційна машина, дискретні та континуальні моделі, режими, параметри, зони стійкості.