

ISSN 2073-7408

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ
И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ**

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

5 (361) 2023

Редколлегия

Главный редактор

Радченко С.Ю. д-р техн. наук, проф.

Заместители главного редактора:

Барсуков Г.В. д-р техн. наук, проф.

Гордон В.А. д-р техн. наук, проф.

Подмастерьев К.В. д-р техн. наук,
проф.

Поляков Р.Н. д-р техн. наук, проф.

Шоркин В.С. д-р физ.-мат. наук, проф.

Члены редколлегий:

Голеньков В.А. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Дунаев А.В. д-р техн. наук, доц. (Россия)

Дьяконов А.А. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Емельянов С.Г. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Запомель Я. д-р техн. наук, проф. (Чехия)

Зубчиных В.Г. д-р техн. наук, проф.
(Россия)

Киричек А.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Кузичкин О.Р. д-р техн. наук, проф.
(Россия)

Кухарь В.Д. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Лавриненко В.Ю. д-р техн. наук, проф.
(Россия)

Ли Шэнбо. канд. техн. наук, доц. (Китай)

Мирсаилов В.М. д-р физ.-мат. наук, проф.
(Азербайджан)

Пилипенко О.В. д-р техн. наук, проф.
(Россия)

Поляков Р.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Распопов В.Я. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Савин Л.А. д-р техн. наук, проф.
(Россия)

Смоленцев В.П. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Содаткин В.М. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Старовойтов Э.И. д-р физ.-мат. наук, проф.
(Беларусь)

Степанов Ю.С. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Хейфец М.Л. д-р техн. наук, проф. (Беларусь)

Ответственный редактор:

Тюхта А.В. канд. техн. наук

Адрес редакции

302030, Орловская обл., г. Орел, ул.

Московская, 34

+7 (905) 169 88 99

<https://oreluniver.ru/science/journal/fippt>

E-mail: radsu@rambler.ru

Зарег. в Федеральной службе по

надзору в сфере связи, информационных

технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство ПИ № ФС77-67029

от 30 августа 2016 года

Подписной индекс 29504

по объединенному каталогу

«Пресса России»

на сайтах www.pressa-rg.ru и www.aks.ru

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2023

Журнал индексируется в системе

Российского индекса научного цитирования

РИНЦ, а также в международных системах

Chemical Abstracts и Google Scholar.

В соответствии с письмом ВАК от 06.12.2022

№02-1198 «О Перечне рецензируемых

научных изданий», журнал

«Фундаментальные и прикладные проблемы

техники и технологии» как издание,

входящее в международную базу данных

Chemical Abstracts, приравнивается к

изданиям категории К1.

Содержание

Механика деформируемого твердого тела, динамика и прочность

Поддубный А.А., Гордон В.А., Семенова Г.А. Изгибные колебания сваи, вызванные внезапной осадкой части основания 3

Машиностроительные технологии и оборудование

Землянушинов Н.А. Исследование управляемого формирования упругого ядра пружин сжатия при упрочнении дробеёмной обработкой и контактным заневольванием 21
Ковалев В.Д., Панков В.П., Радченко С.Ю., Куликов М.В. Формирование износостойких слоев на сталях и чугунах наплавкой и нанесением износостойких покрытий 30
Александров И.А., Муранов А.Н., Червяков Л.М. Вопросы обеспечения гибкости машиностроительных производств 40

Машиноведение и мехатроника

Корнеев А.Ю., Ли Шэнбо, Мищенко Е.В., Савин Л.А. Влияние эффекта Ломакина на несущую способность конических гидродинамических подшипников 48
Родичев А.Ю., Внуков А.В., Родичева И.В., Васильев К.В. Экспериментальный узел лабиринтных уплотнений в мехатронных механизмах 59
Горин А.В., Поляков Р.Н., Ушаков Л.С., Серебренников А.Д. Моделирование мехатронного механизма на основе импульсного гидropневматического привода.... 65
Сытин А.В., Власова С.А., Серебренников А.Д., Смирнова К.В. Расчет характеристик упорного лепесткового газодинамического подшипника совместным решением задач газодинамики и теории упругости 72
Корнеев А.Ю., Ли Шэнбо, Мищенко Е.В., Савин Л.А. Описание интерфейса программного обеспечения для расчета характеристик конических подшипников жидкостного трения 80

Приборы, биотехнические системы и технологии

Каракеян В.И., Харламов Н.Р., Рябышенков А.С. Оценка экологической напряженности атмосферы промышленной зоны наукоемкой природно-технической геосистемы 91
Носова А.О., Варфоломеева А.Е., Успенская М.В., Олехнович Р.О. Возможности применения методов термического анализа для обнаружения пвх-микропластика в почве 99
Пензев С.О., Бондарева Л.А., Суханова М.В. Выбор объекта исследования для оценки влагообеспеченности растения 110
Кандурова К.Ю. Спектрофотометрические исследования оптических характеристик печени и желчи в диапазоне 350-1300 нм 117

Контроль, диагностика, испытания и управление качеством

Коваль Н.С., Лебедев В.А., Ширин А.А., Захарова О.А. Применение индукционного метода измерения при исследовании процесса переработки шлама в устройствах с вращающимся электромагнитным полем 127

Материалы международной научно-технической конференции «Динамика, надежность и долговечность механических и биомеханических систем»

Ереев М.Н., Лонин К.А., Потапов Д.О., Патрушев В.Л., Соловьев С.А., Щекин Д.В. Расчетно-экспериментальное обоснование сейсмостойкости оборудования ЯЭУ 134
Поляков А.М., Пахалюк В.И., Бугаев П.А. Оптимизация параметров математической модели регенеративной реабилитации суставного хряща 143
Годжаев З.А., Сенькевич С.Е., Кузьмин В.А., Малахов И.С. Концепция создания адаптивных ходовых систем сельскохозяйственных мобильных энергосредств с применением элементов искусственного интеллекта 159
Буркова Е.В., Бурков Д.В. Конструктивные особенности первого каскада солнечного коллектора и оценка КПД 165
Перепада К.В., Балашов М.Г., Лекарев Г.В. Построение обводов лекал сборочной постели 171
Балашов М.Г., Лекарев Г.В. Расчет конструкций методом конечных элементов 179
Роцуткин С.И., Солнцева Д.С. Применение технологии реверс-инжиниринга при проектировании и производстве морских беспилотных аппаратов 190
Неменко А.В., Никитин М.М. Оптимизация прогнозно-технологической оценки качества финишной обработки поверхностей второго порядка 197

Журнал входит в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» ВАК по следующим группам научных специальностей:

2.2.4. Приборы и методы измерения (по видам измерений) (технические науки), 2.2.5. Приборы навигации (технические науки), 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды (технические науки), 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки), 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки), 2.5.2. Машиноведение (технические науки), 2.5.3. Трение и износ в машинах (технические науки), 2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы (технические науки), 2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки), 2.5.6. Технология машиностроения (технические науки), 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением (технические науки), 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства (технические науки).

Editorial Committee

Editor-in-chief

Radchenko S.Yu. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editor-in-chief Assistants:

Barsukov G.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Gordon V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.

Podmasteryev K.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Polyakov R.N. Doc. Sc. Tech., Prof.

Shorkin V.S. Doc. Sc. Ph. – Math., Prof.

Member of editorial board:

Golenkov V.A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Dunaev A.V. Doc. Sc. Tech., Assist. Prof. (Russia)

Dyakonov A.A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Emelyanov S.G. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Zapomel Ya. Doc. Sc. Tech., Prof. (Czech Republic)

Zubchaninov V.G. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Kirichek A.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Kuzichkin O.R. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Kukhar V.D. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Lavrynenko V.Yu. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Li Shengbo. Cand. Sc. Tech., Assist. Prof. (China)

Mirsalimov V.M. Doc. Sc. Ph. – Math., Prof. (Azerbaijan)

Pilipenko O.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Polyakov R.N. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Raspopov V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Savin L.A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Smolenzev V.P. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Soldatkin V.M. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Starovoitov A.L. Doc. Sc. Ph. – Math., Prof. (Belarus)

Stepanov Yu.S. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Heifets M.I. Doc. Sc. Tech., Prof. (Belarus)

Responsible editor:

Tyukhta A.V. Candidate Sc. Tech.

Address

302030, Oryol region, Oryol, st.

Moskovskaya, 34

+7 (905) 169 88 99

<https://oreluniver.ru/science/journal/fipppt>

E-mail: radsu@rambler.ru

Journal is registered in Federal Agency of supervision in sphere of communication, information technology and mass communications. The certificate of registration PI № FS77-67029 from 30.08.2016

Index on the catalogue of the

«Pressa Rossiï» 29504

on the websites www.pressa-rf.ru

and www.aks.ru

© Orel State University, 2023

The journal is indexed in the system of the Russian Science Citation Index (RSCI), and also in international systems Chemical Abstracts and Google Scholar.

In accordance with the letter of the Higher Attestation Commission dated December 6, 2022 No. 02-1198 "On the List of Peer-Reviewed Scientific Publications", the journal Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology, as a publication included in the international Chemical Abstracts database, is equated to publications of the K1 category.

Contents

Mechanics of deformable solids, dynamics and strength

- Poddubny A.A., Gordon V.A., Semenova G.A. Bending vibrations of the pile caused by sudden settlement of part of the foundation 3

Machine-building technologies and equipment

- Zemlyanushnov N.A. Investigation of compression springs elastic core controlled formation during hardening shot blasting and contact predeformation 21
- Kovalev V.D., Pankov V.P., Radchenko S.Y., Kulikov M.V. Formation of wear-resistant layers on steels and cast iron by surfacing and applying wear-resistant coatings 30
- Alexandrov I.A., Muranov A.N., Chervyakov L.M. Issues of providing flexibility in machinery engineering production 40

Machine Science and Mechatronics

- Korneev A.Yu., Li Shengbo, Mishchenko E.V., Savin L.A. The Lomakins effect on the load-carrying capacity of the conical fluid film bearings 48
- Rodichev A.Yu., Vnukov A.V., Rodicheva I.V., Vasiliev K.V. Experimental assembly of labyrinth seals in mechatronic mechanisms 59
- Gorin A.V., Polyakov R.N., Ushakov L.S., Serebrennikov A.D. Simulation of a mechatronic mechanism based on a pulse hydropneumatic drive 65
- Sitn A.V., Vlasova V.S., Serebrennikov A.D., Smirnova K.V. Calculation of the characteristics of the thrust leafgas dynamic bearing by joint solution of gas dynamics and elasticity theory problems 72
- Korneev A.Yu., Li Shengbo, Mishchenko E.V., Savin L.A. The software interface description for calculation of conical liquid friction bearings characteristics 80

Devices, biotechnical systems and technologies

- Karakeyan V.I., Kharlamov N.R., Ryabyshnikov A.S. Assessment of the degree of ecological tension of the atmosphere of the industrial zone of the science natural and technical geosystem 91
- Nosova A.O., Varfolomeeva A.E., Uspenskaya M.V., Olekhovich R.O. The possibilities of applying thermal analysis methods to detect pvc microplastics in soil 99
- Penzeva S.O., Bondareva L.A., Sukhanova M.V. Selection of the object of study to assess the moisture content supply of the plant 110
- Kandurova K.Y. Spectrophotometric measurements of the optical properties of liver in the 350-1300 nm range 117

Monitoring, Diagnostics, Testing and Quality Management

- Koval N.S., Lebedev V.A., Shirin A.A., Zakharova O.A. Application of the induction measurement method in studying the process of sludge processing using a rotating electromagnetic field 127

Materials of the international scientific and technical conference «Dynamics, reliability and durability of mechanical and biomechanical systems»

- Ereev M.N., Lonin K.A., Potamov D.O., Patrushev V.L., Soloviev S.A., Shchekin D.V. Calculation and experimental justification of seismic resistance of NPP equipment 134
- Poliakov A.M., Pakhaliuk V.I., Bugayov P.A. Optimization matematic model parameters of regenerative rehabilitation of the articular cartilage defect 143
- Godzhayev Z.A., Senkevich S.Ye., Kuzmin V.A., Malakhov I.S. The concept of creating adaptive running systems of agricultural mobile power vehicles using elements of artificial intelligence 159
- Burkova E.V., Burkov D.V. Design features of the 1st solar collector cascade and efficiency assessment 165
- Perepadya K.V., Balashov M.G., Lekarev G.V. Construction of the lines of the assembly 171
- Balashov M.G., Lekarev G.V. Calculation of structures by the finite element method 179
- Roshchupkin S.I., Solntseva D.S. Application of reverse engineering technology in design and production of marine unmanned vehicles 190
- Nemenko A.V., Nikitin M.M. Optimization of forecasting and technological evaluation of the finishing quality of second-order surfaces 197

The journal is included in the «List of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for obtaining the scientific degree of the candidate of sciences, for the academic degree of the doctor of sciences» of the Higher Attestation Commission for the following groups of scientific specialties: 2.2.4. Instruments and measurement methods (by types of measurements) (technical sciences), 2.2.5. Navigation devices (technical sciences), 2.2.8. Methods and devices for monitoring and diagnosing materials, products, substances and the natural environment (technical sciences), 2.2.11. Information-measuring and control systems (technical sciences), 2.2.12. Devices, systems and products for medical purposes (technical sciences), 2.5.2. Mechanical engineering (technical sciences), 2.5.3. Friction and wear in machines (technical sciences), 2.5.4. Robots, mechatronics and robotic systems (technical sciences), 2.5.5. Technology and equipment for mechanical and physical-technical processing (technical sciences), 2.5.6. Engineering technology (technical sciences), 2.5.7. Technologies and machines for forming (technical sciences), 2.5.22. Quality control products. Standardization. Organization of production (technical Sciences).

**МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА,
ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ**

УДК 539.3

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-361-5-3-20

А.А. ПОДДУБНЫЙ, В.А. ГОРДОН, Г.А. СЕМЕНОВА

**ИЗГИБНЫЕ КОЛЕБАНИЯ СВАИ, ВЫЗВАННЫЕ ВНЕЗАПНОЙ
ОСАДКОЙ ЧАСТИ ОСНОВАНИЯ**

Аннотация. В настоящей работе представлена математическая модель возникновения вынужденных изгибных колебаний сваи, нагруженной с некоторым эксцентриситетом, вызванными внезапной осадкой основания. При этом свая рассматривается как конструктивно нелинейная конструкция, изменяющая расчётную схему под нагрузкой. Первоначально определяется статическое деформированное состояние шарнирно опертой по концам сваи, полностью погружённой в основание. После внезапной осадки на определённую глубину свая рассматривается как криволинейный стержень, состоящий из двух сопрягаемых участков: по-прежнему погружённого в основание и свободного, находящимися в движении. Определяются собственные частоты и формы сопрягаемых участков, на базе которых рассчитываются формы вынужденных колебаний и изгибающие моменты в произвольных сечениях сваи. При построении определяющих соотношений задачи использовался метод начальных параметров с применением векторно-матричного представления состояния произвольных сечений сваи.

Ключевые слова: свая, эксцентриситет нагрузки, внезапная осадка основания, частоты и формы колебаний, прогибы и моменты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. De Rose, M.A. Stability and dynamics of beams on Winkler elastic foundation / Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 1989. – Vol. 18 № 3. – p. 377-388.
2. Lee, B.K., Jeong, J.S., Fan, L.G., Jin, T.K. Free vibration of tapered piles embedded partially in Winkler type foundation / KSCE J. of Civil Engineering, 1999. – Vol. 3 № 2. – p. 195-203.
3. Vogt, N., Vogt, S., Kellner. Buckling of slender piles in soft soils / Bautechnik, Special Issue – Geotechnical Engineering, 2009. – p. 98-112.
4. Janko, R. Numerical and exact solution of buckling load for beam on elastic foundation / Transactions of the VSB – Technical Univ. of Ostrava, Mech. Series, 2013. – Vol. LIX, № 1. – p. 21-26.
5. Dinckal, C., Alemdar, B., Gulkan, P. Dynamics of a beam-column element on an elastic foundation / Can. J. Civ. Eng. 43, 2016. – p. 685-701.
6. Поддубный, А.А., Гордон В.А. Методики расчёта критической силы сжатого стержня, погружённого в упругое основание / Вестник БелГУТ: Наука и транспорт, 2019. – № 1(38). – с. 49-52.
7. Gordon, V., Morrev, P. Stability analysis of a pile completely embedded into elastic foundation / Journal of Physic: Conference Series. Intern. conf. Applied Matematics, Computational science and Mechanics: Current Problems. – AMCSM, 2018-2019. – с. 012004.
8. Ruta, G.C., Elishakoff, I. Bucking of a column on Wiegardt foundation / ZAMM, 2006. – 86, p. 617.
9. Morfidis, K. Vibration of Nimoshenko beams on three-parameter elastic foundation / Comput. Struct, 2007. – 85, p. 1243.
10. Nobili, A., Lanzoni, L. On the stability loss for an Euler beam resting on a tensionless Pasternak foundation / ZAMP, 2013. – Vol. 65. – p.797-808.
11. Deng, T., Liu, F., Huang, M. Buckling of fully embedded single piles by using the modified Vlasov foundation model / J. of Soil Mechanics and Foundations, 1970. – Vol.96, No.6. – p.951-965.
12. Taha, M.N. Analysis of axially loaded tapered beams with general end restraints on two-parameter foundation / J. of theoretical and applied mechanics, 2014. – Vol.52, No.1. – p.215-225.
13. Zhang, L., Wu, G.T., Wu, J. A Kerr-type elastic foundation model for the buckling analysis of a beam bounded on elastic layer / ZAMM, 2019. – e.201900162.
14. El Nagggar, M.H., Novak, M. Nonlinear analysis for dynamic lateral pile response soil / Dyn. Earthq. Eng. 1996. –15(4). – p.233-244.
15. Shen, H.S. A novel technique for nonlinear analysis of beams on two-parameter elastic foundation / Int. J. Str. Stab. Dyn, 2011. – 11(6). – p.999-1014.
16. Silveira, R.A.M. et al. Nonlinear equilibrium and stability analysis of a axially loaded piles under bilateral contact constraints / Latin American J. of Solids and Structures, 2015. – Vol.12, No.2. – p. 250-270.
17. West, R.P., Heelis, M.E., Pavlovic, M.N., Wylie, G.B. Stability of end-bearing piles in non-homogenous elastic foundation / Int. J. for Numerical and Anal. Methods in Geomechanics. – 1097. – Vol.21. – p. 845-861.
18. Heelis, M.E., Pavlovic, M.N., West, R.T. The stability of uniform-friction piles in homogeneous and non-homogeneous elastic foundation / Int. J. Solids and Structures, 1990. – Vol.36. – p. 3277-3292.

19. Lee, S.Y., Lin, J.S., Hsu, K.C. Elastic instability of a beam resting on an elastic foundation subjected to a partially tangential force / *Computers and Structures*, 1996. – Vol.59, No.6. – p. 983-998.
20. Basu, D., Salgado, R., Prezzi, M. A continuum-based model for analysis of laterally loaded piles in layered soils / *Geotechnique*, 2009. – Vol.59, No.2. – p. 127-140.
21. Okajima, K., Imai, J., Tanaka, T. Static buckling model tests and elasto-plastic finite element analysis of a pile in layers with various thicknesses / *Transactions of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Rural Engineering*, 2011. – Vol.78, No.6. – p. 455-464.
22. Gazetas, G., Dobry, R. Horizontal response of piles in layered soils / *J. of Geotechnical Engineering*, 1984. – 110(1). – p. 20-40.
23. Basack, S., Purkayastha, R.D. Behavior of single pile under lateral cyclic load in marine clay / *Asian J. Civil Engineering*, 2007. – 8(4). – p. 443-458.
24. Atay, M.T., Coscun, S.B. Elastic stability of Euler columns with a continuous elastic restraint using variational method / *Computers and Mathematics with applications*, 2009. – Vol.58. – p. 2528-2534.
25. Heelis, M.E., Pavlovic, M.N., West, R.T. The analytical prediction of the buckling loads of fully and partially embedded piles / *Geotechnique*, 2012. – Vol.54, No.6. – p. 363-373.
26. Aristizabal-Ochoa, J.D. Stability of slender columns on an elastic foundations with generalized end conditions / *Ingenieria e investigation*, 2013. – Vol.33, No.3. – p. 34-40.
27. Obara, P. Vibration and stability of Bernoulli-Euler and Timoshenko beams on two-parameter elastic foundation / *Archives of Civil Engineering*, 2014. – Vol. LX. – p. 421-440.
28. Soltani, M., Mohammadi, M. Stability analysis of non-local Euler-Bernoulli beam with exponentially varying cross-section resting on Winkler-Pasternak foundation / *Numerical Methods in Civil Engineering*, 2018. – Vol.2, No.3. – p. 67-77.
29. Lee, S.Y., Kuo, Y.H., Lin, F.Y. Stability of a Timoshenko beam resting on a Winkler elastic foundation / *J. of Sound and Vibration*, 1992. – Vol.153, No.2. – p. 193-202.
30. Taha, M.N., Abdeen, M.A.M. Analytical solution for Timoshenko beam-column on elastic foundation / *Arab. J. Sci. Eng.*, 2016. – Vol.41, No.10. – p. 4053-4064.
31. Channadias, A., Mofid, M. An analytical solution for free vibration of elastically restrained Timoshenko beam on an arbitrary variable Winkler foundation and under axial load / *Latin American J. of Solids and Structures*, 2015. – Vol.12, No.5. – p. 2417-2438.
32. Dudzik, A., Obara, P. Stability analysis of Timoshenko beam resting on an elastic foundation / *Acta Scientiarum Polonorum, Architectura*, 2010. – 9,1. – p. 17-30.
33. Kulinski, K., Przybylski, J. Buckling of stepped beams resting on an elastic foundation / *Journal of Appl. Math*, 2015. – Vol.14, No.4. – p. 115-126.
34. Soltani, M., Asgarian, B., Mohri, F. Stability and vibration analysis of tapered columns resting on one or two-parameter elastic foundation / *Numerical Methods in Civil Engineering*, 2014. – Vol.1, No.2. – p. 57-66.
35. Hsu, M.H. Vibration analysis of non-uniform beams resting on elastic foundation using the spline collocation method / *Tamkang journal of science and engineering*, 2009. – Vol.12, No.2. – p. 113-122.
36. Zhou, L., Huang, Y. Crack effect on the elastic buckling behavior of axially and eccentrically loaded columns / *Structural Engineering Mechanics*, 2006. – Vol.22(2). – p. 169-184.
37. Yesilce, Y., Catal, H. Free vibration of piles embedded in soil having different modulus of subgrade reaction / *Appl. Math. Model.*, 2008. – 32(5). – p. 889-900.
38. Manna, A., Baidya, D.K. Nonlinear dynamic response of piles under horizontal exutation / *J. Geotech. Geoenv. ASCE*, 2010. – 136(12). – p. 1600-1609.
39. Hongyong, Lv., Qing Ken. Dynamic response and internal force of partially embedded single pile with distributed loads / *Appl. Mech. Math*, 2013. – Vol.353-356. – p. 324-328.
40. Ma, J., Liu, F., Gao, X., Nie, M. Buckling and free vibration of a single pile considering the effect of soil-structure interaction / *Int. J. Str. Stab. Dyn*, 2018. – 18(4). – 1850061.
41. Gabr, M.A., Wang, S.F., Kiger, S.A. Effect of boundary conditions on buckling of friction piles / *Computers and Structures*, 1996. – Vol.50, No.6. – p. 983-988.
42. Shatri, V., Bozo, L., Shatri, B., Shefkiu, B. Influence of soil stiffness and the end support conditions of a pile in its buckling force / *Int. J. of Current Engineering and Technology*, 2014. – Vol.4, No.1. – p. 195-200.
43. Teodorescu, P.P. On the buckling of a column in an elastic medium / *Int. J. Eng. Sci*, 1981. – Vol.19, No.12. – p. 1749-1755.
44. Valsangkar, A.J., Pradhanang, R.B. Free vibration of partially supported piles / *J. of Engineering Mechanics*, 1987. – Vol.113, No.8.
45. Catal, H.H. Free vibration of semi-rigid connected and partially embedded piles with the effect of the bending moment, axial and shear force / *Eng. Struct*, 2006. – 28(14). – p. 1911-1918.
46. Kumar, P., Karuppaiah, B., Parameswaran, P. Buckling behavior of partially embedded reinforced concrete piles in sand / *ARPN J. Eng. Appl. Sci*, 2007. – 2(4). – p. 22-26.
47. Fazelzadeh, S.A., Kazemi-Lari, M.A. Stability analysis of partially loaded Leipholz column carrying a lumped mass and resting on elastic foundation / *J. of Sound and Vibration*, 2013. – 332(2). – p. 595-607.
48. Feng, G.B., Ling, W.C., Zhou, Y.G. Numerical eigenvalue buckling analysis of partially embedded piles / *EJGE*, 2013. – Vol.18. – Bund M.
49. Wen-pei, S., Ming-hsiang, S., Cheng, L., Germ, G.C. The critical loading for lateral buckling continuous welded rail / *J. of Zhejiang Univ. Science A*, 2005. – 6(8). – p. 878-885.
50. Kumar, P., Kamaraj, A., Parameswaran, P. Experimental investigation on buckling behavior of axially loaded prestressed concrete piles in sand / *J. Eng. Appl. Sci*, 2007. – 2. – p. 1394-1398.

51. Lokshin, A., Mishkevich, V., Ivanov, L. Buckling of a simply supported beam on an elastic foundation supported within its span with elastic supports. *Buckling of grillages / SAOS*, 2008. – Vol.3, No.2. – p. 99-104.
52. Dash, S.R., Bhattacharya, S., Blakeborough, A. Bending-buckling interaction as a failure mechanism of piles in liquefiable soils / *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, 2010. – 30(1-2). – p. 32-39.
53. Ramires-Henao, A.F., Smith-Pardo, J.P. Elastic stability of pile-supported wharves and piers / *Eng. Struct.*, 2015. – Vol.97. – p. 140-151.
54. Poulos, H.C. Pile behavior – theory and application / *Geotechnique*, 1989. – 39(3). – p. 365-415.
55. Вольмир, А.С. Устойчивость упругих систем / Москва: Физматгиз, 1967. – 989 С.
56. Prakash, S., Sharma, D.H. Pile foundation in engineering practice / John Wiley and sons, 1990.
57. Санжаровский, Р.С., Веселов, А.А. Теория расчёта строительных конструкций на устойчивость и современные нормы. Учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 128 С.
58. Mutman, U., Coskun, S.B. Free vibration analysis of non-uniform Euler beam on elastic foundation in homotopy perturbation method / *Int. J. of Mechanical and Mechatronic Engineering*, 2013. – Vol.7, No. 7. – p. 1353-1358.
59. Shatri, V., Bozo, L., Shefkiu, B., Shatri, B. Analysis of buckling of piles fully embedded in ground according to finite element method / *Int. J. of Current Engineering and Technology*, 2014. – Vol.4, No.1. – p. 201-205.
60. Shatri, V., Bozo, L., Shefkiu, B., Shatri, B. Parameters that influence buckling forces of a fully embedded pile based on the finite difference method / *Int. J. Civil Engineering and Architecture*, 2017. – No.11. – p. 325-334.
61. Wei, L.C. Parametric studies on buckling of piles in cohesion soils by numerical method / *Hong Kong Institute of Engineering Transactions*, 2013. – Vol.20, No.1. – p. 12-33.
62. Баничук, Н.В. Анализ и оптимизация устойчивости балок на сплошном упругом основании. Часть 1. – Москва: Препринт №1144, 2017.
63. Poddubny, A.A., Gordon, V.A. Dynamic loading of the rod a sudden change of elastic foundation structure / *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021. – 1079,042076.

Поддубный Алексей Алексеевич
Белорусский государственный
университет транспорта, г.
Гомель
Кандидат физико-
математических наук, доцент,
начальник факультета
246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34
Е
m
a

Гордон Владимир Александрович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С.
Тургенева», г. Орёл
Доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры
технической физики и математики
302026, г. Орел, ул. Комсомольская,
д. 95
Тел. +7 (4862) 41-98-48
E-mail: gordon@ostu.ru

Семёнова Галина Александровна
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С.
Тургенева», г. Орёл
Кандидат технических наук,
доцент, доцент кафедры
технической физики и математики
302026, г. Орел, ул. Комсомольская,
д. 95
Тел. +7 (4862) 41-98-48
E-mail: greece-g2011@yandex.ru

A.A. PODDUBNY, V.A. GORDON, G.A. SEMENOVA

BENDING VIBRATIONS OF THE PILE CAUSED BY SUDDEN SETTLEMENT OF PART OF THE FOUNDATION

Abstract. *This paper presents a mathematical model of the occurrence of forced bending vibrations of a pile loaded with a certain eccentricity caused by a sudden settlement of the foundation. In this case, the pile is considered as a structurally nonlinear structure that changes the design scheme under load. Initially, the static deformed state of a pile hinged at the ends and completely immersed in the foundation is determined. After a sudden settlement to a certain depth, the pile is considered as a curved rod consisting of two mating sections: still immersed in the foundation and free, in motion. The natural frequencies and shapes of the mating sections are determined, on the basis of which the shapes of forced vibrations and bending moments in arbitrary sections of the pile are calculated. When constructing the constitutive relations of the problem, the method of initial parameters was used using a vector-matrix representation of the state of arbitrary sections of the pile.*

Keywords: *pile, load eccentricity, sudden foundation settlement, vibration frequencies and modes, deflections and moments.*

BIBLIOGRAPHY

1. De Rose, M.A. Stability and dynamics of beams on Winkler elastic foundation / *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 1989. – Vol. 18 № 3. – p. 377-388.
2. Lee, B.K., Jeong, J.S., Fan, L.G., Jin, T.K. Free vibration of tapered piles embedded partially in Winkler type foundation / *KSCE J. of Civil Engineering*, 1999. – Vol. 3 № 2. – p. 195-203.
3. Vogt, N., Vogt, S., Kellner. Buckling of slender piles in soft soils / *Bautechnik, Special Issue – Geotechnical Engineering*, 2009. – p. 98-112.
4. Janko, R. Numerical and exact solution of buckling load for beam on elastic foundation / *Transactions of the VSB – Technical Univ. of Ostrava, Mech. Series*, 2013. – Vol. LIX, № 1. – p. 21-26.

5. Dincal, C., Alemdar, B., Gulkan, P. Dynamics of a beam-column element on an elastic foundation / *Can. J. Civ. Eng.* 43, 2016. – p. 685-701.
6. Poddubny, A.A., Gordon V.A. Metodiki raschyota kriticheskoy sily szhatogo sterzhnya, pogruchyonnoy v uprugoe osnovanie / *Vestnik BelGUT: Nauka i transport*, 2019. – № 1(38). – p. 49-52.
7. Gordon, V., Morrev, P. Stability analysis of a pile completely embedded into elastic foundation / *Journal of Physic: Conference Series. Intern. conf. Applied Mathematics, Computational science and Mechanics: Current Problems.* – AMCSM, 2018-2019. – с. 012004.
8. Ruta, G.C., Elishakoff, I. Bucking of a column on Wieghardt foundation / *ZAMM*, 2006. – 86, p. 617.
9. Morfidis, K. Vibration of Nimoshenko beams on three-parameter elastic foundation / *Comput. Struct*, 2007. – 85, p. 1243.
10. Nobili, A., Lanzoni, L. On the stability loss for an Euler beam resting on a tensionless Pasternak foundation / *ZAMP*, 2013. – Vol. 65. – p.797-808.
11. Deng, T., Liu, F., Huang, M. Buckling of fully embedded single piles by using the modified Vlasov foundation model / *J. of Soil Mechanics and Foundations*, 1970. – Vol.96, No.6. – p.951-965.
12. Taha, M.N. Analysis of axially loaded tapered beams with general end restraints on two-parameter foundation / *J. of theoretical and applied mechanics*, 2014. – Vol.52, No.1. – p.215-225.
13. Zhang, L., Wu, G.T., Wu, J. A Kerr-type elastic foundation model for the buckling analysis of a beam bounded on elastic layer / *ZAMM*, 2019. – e.201900162.
14. El Naggar, M.H., Novak, M. Nonlinear analysis for dynamic lateral pile response soil / *Dyn. Earthq. Eng.* 1996. –15(4). – p.233-244.
15. Shen, H.S. A novel technique for nonlinear analysis of beams on two-parameter elastic foundation / *Int. J. Str. Stab. Dyn*, 2011. – 11(6). – p.999-1014.
16. Silveira, R.A.M. et al. Nonlinear equilibrium and stability analysis of a axially loaded piles under bilateral contact constraints / *Latin American J. of Solids and Structures*, 2015. – Vol.12, No.2. – p. 250-270.
17. West, R.P., Heelis, M.E., Pavlovic, M.N., Wylie, G.B. Stability of end-bearing piles in non-homogenous elastic foundation / *Int. J. for Numerical and Anal. Methods in Geomechanics.* – 1097. – Vol.21. – p. 845-861.
18. Heelis, M.E., Pavlovic, M.N., West, R.T. The stability of uniform-friction piles in homogeneous and non-homogeneous elastic foundation / *Int. J. Solids and Structures*, 1990. – Vol.36. – p. 3277-3292.
19. Lee, S.Y., Lin, J.S., Hsu, K.C. Elastic instability of a beam resting on an elastic foundation subjected to a partially tangential force / *Computers and Structures*, 1996. – Vol.59, No.6. – p. 983-998.
20. Basu, D., Salgado, R., Prezzi, M. A continuum-based model for analysis of laterally loaded piles in layered soils / *Geotechnique*, 2009. – Vol.59, No.2. – p. 127-140.
21. Okajima, K., Imai, J., Tanaka, T. Static buckling model tests and elasto-plastic finite element analysis of a pile in layers with various thicknesses / *Transactions of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Rural Engineering*, 2011. – Vol.78, No.6. – p. 455-464.
22. Gazetas, G., Dobry, R. Horizontal response of piles in layered soils / *J. of Geotechnical Engineering*, 1984. – 110(1). – p. 20-40.
23. Basack, S., Purkayastha, R.D. Behavior of single pile under lateral cyclic load in marine clay / *Asian J. Civil Engineering*, 2007. – 8(4). – p. 443-458.
24. Atay, M.T., Coscun, S.B. Elastic stability of Euler columns with a continuous elastic restraint using variational method / *Computers and Mathematics with applications*, 2009. – Vol.58. – p. 2528-2534.
25. Heelis, M.E., Pavlovic, M.N., West, R.T. The analytical prediction of the buckling loads of fully and partially embedded piles / *Geotechnique*, 2012. – Vol.54, No.6. – p. 363-373.
26. Aristizabal-Ochoa, J.D. Stability of slender columns on an elastic foundations with generalized end conditions / *Ingenieria e investigacion*, 2013. – Vol.33, No.3. – p. 34-40.
27. Obara, P. Vibration and stability of Bernoulli-Euler and Timoshenko beams on two-parameter elastic foundation / *Archives of Civil Engineering*, 2014. – Vol. LX. – p. 421-440.
28. Soltani, M., Mohammadi, M. Stability analysis of non-local Euler-Bernoulli beam with exponentially varying cross-section resting on Winkler-Pasternak foundation / *Numerical Methods in Civil Engineering*, 2018. – Vol.2, No.3. – p. 67-77.
29. Lee, S.Y., Kuo, Y.H., Lin, F.Y. Stability of a Timoshenko beam resting on a Winkler elastic foundation / *J. of Sound and Vibration*, 1992. – Vol.153, No.2. – p. 193-202.
30. Taha, M.N., Abdeen, M.A.M. Analytical solution for Timoshenko beam-column on elastic foundation / *Arab. J. Sci. Eng.* 2016. – Vol.41, No.10. – p. 4053-4064.
31. Channadiasl, A., Mofid, M. An analytical solution for free vibration of elastically restrained Timoshenko beam on an arbitrary variable Winkler foundation and under axial load / *Latin American J. of Solids and Structures*, 2015. – Vol.12, No.5. – p. 2417-2438.
32. Dudzik, A., Obara, P. Stability analysis of Timoshenko beam resting on an elastic foundation / *Acta Scientiarum Polonorum, Architectura*, 2010. – 9,1. – p. 17-30.
33. Kulinski, K., Przybylski, J. Buckling of stepped beams resting on an elastic foundation / *Journal of Appl. Math*, 2015. – Vol.14, No.4. – p. 115-126.
34. Soltani, M., Asgarian, B., Mohri, F. Stability and vibration analysis of tapered columns resting on one or two-parameter elastic foundation / *Numerical Methods in Civil Engineering*, 2014. – Vol.1, No.2. – p. 57-66.
35. Hsu, M.H. Vibration analysis of non-uniform beams resting on elastic foundation using the spline collocation method / *Tamkang journal of science and engineering*, 2009. – Vol.12, No.2. – p. 113-122.
36. Zhou, L., Huang, Y. Crack effect on the elastic buckling behavior of axially and eccentrically loaded columns / *Structural Engineering Mechanics*, 2006. – Vol.22(2). – p. 169-184.
37. Yesilce, Y., Catal, H. Free vibration of piles embedded in soil having different modulus of subgrade reaction / *Appl. Math. Model*, 2008. – 32(5). – p. 889-900.

38. Manna, A., Baidya, D.K. Nonlinear dynamic response of piles under horizontal exutation / J. Geotech. Geoenv. ASCE, 2010. – 136(12). – p. 1600-1609.
39. Hongyong, Lv., Qing Ken. Dynamic response and internal force of partially embedded single pile with distributed loads / Appl. Mech. Math, 2013. – Vol.353-356. – p. 324-328.
40. Ma, J., Liu, F., Gao, X., Nie, M. Buckling and free vibration of a single pile considering the effect of soil-structure interaction / Int. J. Str. Stab. Dyn, 2018. – 18(4). – 1850061.
41. Gabr, M.A., Wang, S.F., Kiger, S.A. Effect of boundary conditions on buckling of friction piles / Computers and Structures, 1996. – Vol.50, No.6. – p. 983-988.
42. Shatri, V., Bozo, L., Shatri, B., Shefkiu, B. Influence of soil stiffness and the end support conditions of a pile in its buckling force / Int. J. of Current Engineering and Technology, 2014. – Vol.4, No.1. – p. 195-200.
43. Teodorescu, P.P. On the buckling of a column in an elastic medium / Int. J. Eng. Sci, 1981. – Vol.19, No.12. – p. 1749-1755.
44. Valsangkar, A.J., Pradhanang, R.B. Free vibration of partially supported piles / J. of Engineering Mechanics, 1987. – Vol.113, No.8.
45. Catal, H.H. Free vibration of semi-rigid connected and partially embedded piles with the effect of the bending moment, axial and shear force / Eng. Struct, 2006. – 28(14). – p. 1911-1918.
46. Kumar, P., Karuppaiahand, B., Parameswaran, P. Buckling behavior of partially embedded reinforced concrete piles in sand / ARPN J. Eng. Appl. Sci, 2007. – 2(4). – p. 22-26.
47. Fazelzadeh, S.A., Kazemi-Lari, M.A. Stability analysis of partially loaded Leipholz column carrying a lumped mass and resting on elastic foundation / J. of Sound and Vibration, 2013. – 332(2). – p. 595-607.
48. Feng, G.B., Ling, W.C., Zhau, Y.G. Numerical eigenvalue buckling analysis of partially embedded piles / EJGE, 2013. – Vol.18. – Bund M.
49. Wen-pei, S., Ming-hsiang, S., Cheng, L., Germ, G.C. The critical loading for lateral buckling continuous welded rail / J. of Zhejiang Univ. Science A, 2005. – 6(8). – p. 878-885.
50. Kumar, P., Kamaraj, A., Parameswaran, P. Experimental investigation on buckling behavior of axially loaded prestressed concrete piles in sand / J. Eng. Appl. Sci, 2007. – 2. – p. 1394-1398.
51. Lokshin, A., Mishkevich, V., Ivanov, L. Buckling of a simply supported beam on an elastic foundation supported within its span with elastic supports. Buckling of grillages / SAOS, 2008. – Vol.3, No.2. – p. 99-104.
52. Dash, S.R., Bhattacharya, S., Blakeborough, A. Bending-buckling interaction as a failure mechanism of piles in liquefiable soils / Soil Dyn. Earthq. Eng, 2010. – 30(1-2). – p. 32-39.
53. Ramires-Henao, A.F., Smith-Pardo, J.P. Elastic stability of pile-supported wharves and piers / Eng. Struct, 2015. – Vol.97. – p. 140-151.
54. Poulos, H.C. Pile behavior – theory and application / Geotechnique, 1989. – 39(3). – p. 365-415.
55. Volmir, A.S. Ustojchivost uprugih sistem / Moskva: Fizmatgiz, 1967. – 989 C.
56. Prakash, S., Sharma, D.H. Pile foundation in engineering practice / John Wiley and sons, 1990.
57. Sanzharovskij, R.S., Veselov, A.A. Teoriya raschyota stroitelnyh konstrukcij na ustojchivost i sovremennye normy. Uchebnoe posobie. – M.: Izd-vo ASV, 2002. – 128 P.
58. Mutman, U., Coskun, S.B. Free vibration analysis of non-uniform Euler beam on elastic foundation in homotopy perturbation method / Int. J. of Mechanical and Mechatronic Engineering, 2013. – Vol.7, No. 7. – p. 1353-1358.
59. Shatri, V., Bozo, L., Shefkiu, B., Shatri, B. Analysis of buckling of piles fully embedded in ground according to finite element method / Int. J. of Current Engineering and Technology, 2014. – Vol.4, No.1. – p. 201-205.
60. Shatri, V., Bozo, L., Shefkiu, B., Shatri, B. Parameters that influence buckling forces of a fully embedded pile based on the finite difference method / Int. J. Civil Engineering and Architecture, 2017. – No.11. – p. 325-334.
61. Wei, L.C. Parametric studies on buckling of piles in cohesion soils by numerical method / Hong Kong Institute of Engineering Transactions, 2013. – Vol.20, No.1. – p. 12-33.
62. Banichuk, N.V. Analiz i optimizaciya ustojchivosti balok na sploshnom uprugom osnovanii. Chast 1. – Moskva: Preprint №1144, 2017.
63. Poddubny, A.A., Gordon, V.A. Dynamic loading of the rod a sudden change of elastic foundation structure / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021. – 1079,042076.

Poddubny Alexey Alekseevich
 Belarusian State University
 transport, Gomel
 Ph.D., Associate Professor of the
 Department of Physical and
 Mathematical Sciences, head of
 faculty
 246653, Gomel, st. Kirova, 34
 E-mail: bsut@bsut.by

Gordon Vladimir Aleksandrovich
 Orel State University
 Doctor of technical Sciences, Professor
 of the Department of technical physics
 and mathematics
 302026, Orel, Komsomolskaya str., 95
 Phone: +7 (4862) 41-98-48
 E-mail: gordon@ostu.ru

Semenova Galina Aleksandrovna
 Orel State University
 Ph.D., Associate Professor of the
 Department of technical physics and
 mathematics
 302026, Orel, Komsomolskaya str.,
 95
 Phone: +7 (4862) 41-98-48
 E-mail: greece-g2011@yandex.ru

© А.А. Поддубный, В.А. Гордон, Г.А. Семенова, 2023

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ **И ОБОРУДОВАНИЕ**

УДК 621.73

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-361-5-21-29

Н.А. ЗЕМЛЯНУШНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМОГО ФОРМИРОВАНИЯ УПРУГОГО ЯДРА ПРУЖИН СЖАТИЯ ПРИ УПРОЧНЕНИИ ДРОБЕМЁТНОЙ ОБРАБОТКОЙ И КОНТАКТНЫМ ЗАНЕВОЛИВАНИЕМ

Аннотация. Теоретически установлена зависимость высоты рабочей части, величины и формы упругого ядра винтовых цилиндрических пружин сжатия предварительно подвергнутых дробемётной обработке от нагрузки контактного заневоливания при их изготовлении. Теоретически определены условные границы между упругой и пластической зонами в сечении витка пружины при контактном заневоливании с учётом предварительной дробемётной обработки.

Ключевые слова: контактное заневоливание, дробемётная обработка, упрочнение пружин, упругое ядро.

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (приказ Минобрнауки России от 26 января 2021 года № 54, проект СП-3658.2021.1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белков, Е.Г. Холодная навивка пружин / Е.Г. Белков. – Иркутск: Изд. Иркутского ун-та, 1987. – 96 с.
2. Галицина, К. А. Оценка качества изделия, получаемого холодным обратным выдавливанием / К. А. Галицина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 2. – С. 615-616.
3. Голенков, В. А. Влияние истории деформирования и режимов термической обработки на механические свойства никелевых лент толщиной 0,05 мм / В. А. Голенков, С. Ю. Радченко, Д. О. Дорохов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2022. – № 6(356). – С. 149-156.
4. Дмитриев, А. М. Повышение качества изделий при выдавливании стаканов из спеченных порошковых заготовок на железной основе / А. М. Дмитриев, Н. В. Коробова // Заготовительные производства в машиностроении. – 2023. – Т. 21, № 2. – С. 64-71.
5. Землянушов, Н.А. Градиентное управляемое упрочнение пружин сжатия / Н.А. Землянушов, Д.О. Дорохов, С.Ю. Радченко, Н.Ю. Землянушнова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2023. – № 2 (358) – С. 20-26.
6. Землянушов, Н. А. К теоретическому обоснованию восстановления автомобильных пружин из упрочненной проволоки / Н. А. Землянушов, Н. Ю. Землянушнова // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2018. – № 5. – С. 68-79.
7. Землянушов, Н. А. Теоретическое исследование влияния дробемётной обработки на изменение геометрических параметров пружин при контактном заневоливании / Н. А. Землянушов, Н. Ю. Землянушнова, Д. О. Дорохов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2022. – № 6(356). – С. 38-47.
8. Землянушнова Н.Ю. Расчет винтовых цилиндрических пружин сжатия при контактном заневоливании. Ставрополь: АГРУС, 2008. 136 с.
9. Лавриненко Ю. А., Белков Е. Г., Фадеев В. В. Упрочнение пружин. – Уфа: Изд. Дом «Бизнес-Партнер», 2002. – 124 с.
10. Лавриненко, Ю. А. Изготовление высоконагруженных пружин сжатия. М.: Инновационное машиностроение, 2017. – 224 с.
11. Лавриненко, Ю. А. Математическая модель процесса упрочнения пружин клапана двигателей автомобилей / Ю. А. Лавриненко // Заготовительные производства в машиностроении. – 2017. – Т. 15, № 7. – С. 302-310.
12. Ларин, С. Н. Новый способ изготовления цилиндрических корпусных изделий с утолщенной краевой частью / С. Н. Ларин, А. А. Пасынков, В. И. Трегубов // Заготовительные производства в машиностроении. – 2023. – Т. 21, № 5. – С. 209-212.
13. Новый способ изготовления пружин клапанов двигателей автомобилей / Н. Ю. Землянушнова, А. А. Порохня, Н. А. Землянушов, В. В. Фадеев // Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. – 2017. – № 1(133). – С. 12-16.
14. Пономарев, С. Д. К обоснованию размеров упругого ядра в заневоленных пружинах / С. Д. Пономарёв // Изв. вузов. – Машиностроение, 1974. – № 10. – С. 24-27.
15. Построение кривых упрочнения в условиях интенсивной пластической деформации / П. Г. Морев, К. И. Капырин, В. А. Голенков [и др.] // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2022. – № 3(353). – С. 43-53.

16. Тебенко, Ю. М. Способы пластического упрочнения пружин / Ю. М. Тебенко // Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. – 2006. – № 1. – С. 37-40.

17. Шаврин О. И. Производство высокопрочных винтовых пружин. – Ижевск: Изд-во: ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2019. – 196 с.

Землянушов Никита Андреевич

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

Старший преподаватель кафедры технологии машиностроения и технологического оборудования

355017, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1

ФГАОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева»

Соискатель кафедры машиностроения

302026, Россия, г. Орёл, ул. Комсомольская, д. 95

Тел.: 8-928-315-50-04

E-mail: nikita3535@mail.ru

N.A. ZEMLYANUSHNOV

**INVESTIGATION OF COMPRESSION SPRINGS ELASTIC CORE
CONTROLLED FORMATION DURING HARDENING SHOT BLASTING
AND CONTACT PREDEFORMATION**

Abstract. *Dependence of working part height, helical cylindrical compression springs elastic core size and shape previously subjected to shot-blasting treatment on load of contact predeformation during manufacture has been established theoretically. The conditional boundaries between elastic and plastic zones in cross section of spring coil are determined, theoretically established by contact predeformation method, taking into account preliminary shot blasting.*

Keywords: *contact predeformation, shot blasting, springs hardening, elastic core.*

BIBLIOGRAPHY

1. Belkov, E.G. Cold winding of springs / E.G. Belkov. – Irkutsk: Ed. Irkutsk University, 1987. – 96 p.
2. Golitsyna, K. A. Evaluation of the quality of the product obtained by cold reverse extrusion / K. A. Golitsyna // Proceedings of Tula State University. Technical sciences. – 2023. – No. 2. – pp. 615-616.
3. Golenkov, V. A. The influence of the history of deformation and heat treatment modes on the mechanical properties of nickel tapes with a thickness of 0.05 mm / V. A. Golenkov, S. Y. Radchenko, D. O. Dorokhov // Fundamental and applied problems of engineering and technology. – 2022. – No. 6(356). – pp. 149-156.
4. Dmitriev, A.M. Improving the quality of products when squeezing glasses from sintered powder blanks on an iron base / A.M. Dmitriev, N. V. Korobova // Procurement production in mechanical engineering. – 2023. – Vol. 21, No. 2. – pp. 64-71.
5. Zemlyanushnov, N.A. Gradient controlled hardening of compression springs / N.A. Zemlyanushnov, D.O. Dorokhov, S.Y. Radchenko, N.Y. Zemlyanushnova // Fundamental and applied problems of engineering and technology. – 2023. – No. 2 (358) – pp. 20-26.
6. Zemlyanushnov, N. A. To the theoretical justification of the restoration of automobile springs from hardened wire / N. A. Zemlyanushnov, N. Y. Zemlyanushnova // Intelligence. Innovation. Investment. – 2018. – No. 5. – pp. 68-79.
7. Zemlyanushnov, N. A. Theoretical study of the impact of shot blasting on the change of geometric parameters of springs during contact drilling / N. A. Zemlyanushnov, N. Y. Zemlyanushnova, D. O. Dorokhov // Fundamental and applied problems of engineering and technology. – 2022. – No. 6(356). – pp. 38-47.
8. Zemlyanushnova N.Yu. Calculation of helical cylindrical compression springs during contact drilling. Stavropol: AGRUS, 2008. 136 p.
9. Lavrinenko Yu. A., Belkov E. G., Fadeev V. V. Hardening of springs. – Ufa: Ed. House "Business Partner", 2002. – 124 p.
10. Lavrinenko, Yu. A. Manufacturing of high-loaded compression springs. M.: Innovative Mechanical Engineering, 2017. – 224 p.
11. Lavrinenko, Yu. A. Mathematical model of the hardening process of valve springs of automobile engines / Yu. A. Lavrinenko // Procurement production in mechanical engineering. – 2017. – Vol. 15, No. 7. – pp. 302-310.
12. Larin, S. N. A new method of manufacturing cylindrical body products with a thickened edge part / S. N. Larin, A. A. Pasyukov, V. I. Tregubov // Procurement production in mechanical engineering. – 2023. – Vol. 21, No. 5. – pp. 209-212.
13. A new method of manufacturing valve springs of automobile engines / N. Y. Zemlyanushnova, A. A. Porokhny, N. A. Zemlyanushnov, V. V. Fadeev // Defense complex - scientific and technical progress of Russia. – 2017. – No. 1(133). – pp. 12-16.
14. Ponomarev, S. D. To substantiate the dimensions of the elastic core in the wound springs / S. D. Ponomarev // Izvestiya vuzov. – Mechanical Engineering, 1974. – No. 10. – pp. 24-27.

15. Construction of hardening curves under conditions of intense plastic deformation / P. G. Morev, K. I. Kapyrin, V. A. Golenkov [et al.] // Fundamental and applied problems of engineering and technology. – 2022. – No. 3(353). – pp. 43-53.

16. Tebenko, Yu. M. Methods of plastic hardening of springs / Yu. M. Tebenko // Defense complex - scientific and technical progress of Russia. - 2006. – No. 1. – pp. 37-40.

17. Shavrin O. I. Production of high-strength screw springs. – Izhevsk: Publishing house: IzhSTU named after M.T. Kalashnikov, 2019. – 196 p.

Zemlyanushnov Nikita Andreevich

North-Caucasus Federal University

Senior Lecturer of the Department of Mechanical Engineering Technology and Technological Equipment

355017, Russia, Stavropol, Pushkin str., 1

Orel State University named after I.S. Turgenev

Applicant of Technical Sciences Candidate degree of Mechanical Engineering Department

302026, Orel, Komsomolskaya str., 95

Phone number: 8-928-315-50-04

E-mail: nikita3535@mail.ru

© Н.А. Землянушнов, 2023

УДК 621.317.7; 621.785.5

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-361-5-30-39

В.Д. КОВАЛЕВ, В.П. ПАНКОВ, С.Ю. РАДЧЕНКО, М.В. КУЛИКОВ

ФОРМИРОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ СЛОЕВ НА СТАЛЯХ И ЧУГУНАХ НАПЛАВКОЙ И НАНЕСЕНИЕМ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

Аннотация. Проведены исследования деталей, изготовленных методом центробежного литья, выполненных из белого износостойкого чугуна или из двухслойного чугуна – серый чугун с отбеленным поверхностным слоем. Определены основные виды износа и направления восстановления поверхностного слоя деталей за счет нанесения износостойких покрытий и наплавочных слоев различных составов.

Ключевые слова: износостойкость, чугун, сталь, наплавка, напыление, покрытие, микротвердость, эрозия, трение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панков В.П. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Технологические процессы производства и ремонта летательных аппаратов и авиационных двигателей / В.П. Панков, А.Л. Бабаян, В.И. Табырца [и др.] – Краснодар, 2020.

2. Панков В.П. Износостойкие плазменные покрытия. [Текст] / В.П. Панков, В.Д. Ковалев, С.В. Румянцев, Д.В. Панков.- Краснодар, 2022.

3. Панков В.П. Материаловедение и технологические процессы в сервисе. [Текст] / В.П. Панков, В.Е. Жидков. – Ставрополь: ООО «Мысль», 2012. – 337 с.

4. Жидков В.Е. Исследование валцов мукомольных мельниц в процессе эксплуатации / В.Е. Жидков, В.П. Панков, В.А. Соловьев // НаукаПарк. 2014. № 2-2 (22). С. 42–47.

5. Панков В.П. Исследование структурно-фазового состава валцов мукомольных мельниц / В.П. Панков, В.А. Соловьев, Л.К. Григорьян [и др.] // НаукаПарк. – 2015. – № 2 (32). – С. 67–72.

6. Панков В.П. Исследование структурно-фазового состава валцов мукомольных мельниц и материалов для их обработки с нанесенным покрытием / В.П. Панков, А.И. Шаталов, В.А. Соловьев: сб. ст. и материалов науч.-практ. конф., посвященной 85-летию ДГТУ «Инновационные направления развития в образовании, экономике, технике и технологиях» под общ. науч. ред. В. Е. Жидкова. – 2015. – С. 318–325.

7. Панков В.П. Исследование режимов обработки валцов мукомольных мельниц с нанесенным покрытием / В.П. Панков, А.И. Шаталов, В.А. Соловьев [и др.] // НаукаПарк. – 2015. – № 2 (32). – С. 58–62.

8. Панков В.П. Исследование материалов для обработки чугуна и износостойких покрытий / В.П. Панков // НаукаПарк. – 2015. – № 3 (33). – С. 59–63.

9. Румянцев С.В. Исследование режимов обработки высокопрочных материалов резанием / С.В. Румянцев, В.П. Панков: сб. науч. ст. и материалов XI Междунар. науч.-практ. конф. «Научные чтения им. профессора Н. Е. Жуковского». – Краснодар, 2021. – С. 31–38.

10. Двойные и тройные карбидные и нитридные системы переходных металлов: Справ. изд. Холлек X. / Пер. с нем. Под ред. Левинского Ю. В. — М.: Металлургия, 1988. — 319 с.

11. Структура и свойства стали после вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошков титана, тантала, молибдена и графита [Текст] / Д.О. Муль, В.В. Самойленко, В.С. Ложкин, Е.А. Дробяз, И.К. Чакин, Р.А. Достовалов // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. — 2013. — № 3. — С. 115—120.
12. Панков В.П. Газотермическое напыление и наплавка / В.П. Панков, А.А. Швецов, Д.О. Пустовит, П.С. Астахов: сб. науч. ст. и материалов XI Междунар. науч.-практ. конф. «Научные чтения им. профессора Н. Е. Жуковского». — Краснодар, 2021. — С. 198–206.
13. Жидков В.Е. Металлические покрытия для повышения долговечности деталей бытовых машин / В.Е. Жидков, В.П. Панков // НаукаПарк. — 2013. — № 6 (16). — С. 81–87.
14. Румянцев С.В. Исследование микроструктуры и свойств наплавленных износостойких материалов / С.В. Румянцев, В.П. Панков: сб. науч. ст. и материалов XI Международной науч.-практ. конф. «Научные чтения им. профессора Н.Е. Жуковского». — Краснодар, 2021. — С. 13–19.
15. Панков В.П. Исследование характеристик износостойкости покрытий и наплавленных материалов для восстановления изделий из чугуна / В.П. Панков // Упрочняющие технологии и покрытия. — 2017. — № 9 (153). — С. 387–392.

Ковалев Вячеслав Данилович

Доктор технических наук, профессор
Начальник отдела АО «Электроавтоматика»
355016, г. Ставрополь, ул. Заводская, 9
Тел. 8(918)751-26-72
E-mail: kwd50@mail.ru

Панков Владимир Петрович

Кандидат технических наук, доцент
Профессор Краснодарского ВВАУЛ
350090, г. Краснодар, ул. Дзержинского, 135
Тел. 8 (918) 861-09-36
E-mail: pankovvp61@list.ru

Радченко Сергей Юрьевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный
университет им. И.С. Тургенева», г. Орёл
Доктор технических наук, профессор, проректор по
научно-технологической деятельности и аттестации
научных кадров
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: 8-905-169-88-99
E-mail: radsu@rambler.ru

Куликов Максим Валерьевич

Кандидат технических наук, доцент
Доцент Краснодарского ВВАУЛ
350053, г. Краснодар, ул. Троицкая, д. 84/2, кв. 7.
Тел. 8 (918) 130-01-41
E-mail: mvkulikov@list.ru

V.D. KOVALEV, V.P. PANKOV, S.Y. RADCHENKO, M.V. KULIKOV

FORMATION OF WEAR-RESISTANT LAYERS ON STEELS AND CAST IRON BY SURFACING AND APPLYING WEAR-RESISTANT COATINGS

Abstract. *Studies of parts made by centrifugal casting, made of white wear-resistant cast iron or double-layer cast iron - gray cast iron with a bleached surface layer. The main types of wear and directions of restoration of the surface layer of parts due to the application of wear-resistant coatings and surfacing layers of various compositions are determined.*

Keywords: *wear resistance, cast iron, steel, surfacing, spraying, coating, microhardness, erosion, friction.*

BIBLIOGRAPHY

1. Pankov V. P Materials science and technology of structural materials. Technological processes of production and repair of aircraft and aircraft engines / V.P. Pankov, A.L. Babayan, V.I. Tabyrtsa [et al.] – Krasnodar, 2020.
2. Pankov V.P. Wear-resistant plasma coatings. [Text] / V.P. Pankov, V. D. Kovalev, S.V. Rummyantsev, D.V. Pankov - Krasnodar, 2022.
3. Pankov V. P. Materials science and technological processes in the service. [Text] / V. P. Pankov, V. E. Zhidkov. – Stavropol: LLC "Thought", 2012. – 337 p.
4. Zhidkov V. E. Investigation of the rollers of flour mills in operation / V. E. Zhidkov, V. P. Pankov, V. A. Soloviev // NaukaPark. 2014. No. 2-2 (22).pp. 42-47.
5. Pankov V. Research of the structural and phase composition of the rollers of flour mills / V. P. Pankov, V. A. Solovyov, L. K. Grigoryan [et al.] // NaukaPark. – 2015. – No. 2 (32). – pp. 67-72
6. Pankov V. P. Investigation of the structural and phase composition of the rollers of flour mills and materials for their processing with a coating / V. P. Pankov, A. I. Shatalov, V. A. Soloviev: collection of articles and materials of the scientific and practical conference dedicated to the 85th anniversary of DSTU "Innovative directions of development in education, economics, equipment and technologies" under the total. scientific ed. by V. E. Zhidkov. - 2015. – pp. 318-325.
7. Pankov V. P. Investigation of processing modes of rollers of flour mills with coated / V. P. Pankov, A. I. Shatalov, V. A. Soloviev [et al.] // NaukaPark. – 2015. – No. 2 (32). – pp. 58-62.
8. Pankov V. P. Research of materials for processing cast iron and wear-resistant coatings / V. P. Pankov // NaukaPark. – 2015. – No. 3 (33). – pp. 59-63.
9. Rummyantsev S. V. Investigation of processing modes of high-strength materials by cutting / S. V. Rummyantsev, V. P. Pankov: collection of scientific articles and materials of the XI International Scientific and Practical Conference. "Scientific readings named after Professor N. E. Zhukovsky". – Krasnodar, 2021. – pp. 31-38.

10. Double and triple carbide and nitride systems of transition metals: Reference ed. Halleck H. / Translated from German. Ed. Levinsky Yu. V. — M.: Metallurgy, 1988. — 319 p.
11. Structure and properties of steel after non-vacuum electron beam surfacing of titanium, tantalum, molybdenum and graphite powders [Text] / D. O. Mul, V. V. Samoylenko, V. S. Lozhkin, E. A. Drobiaz, I. K. Chakin, R. A. Dostovalov // Metal processing: technology, equipment, tools. – 2013. — No. 3. — pp. 115-120.
12. Pankov V. P. Gas thermal spraying and surfacing / V. P. Pankov, A.A.Shvetsov, D.O. Pustovit, P.S.Astakhov: collection of scientific articles and materials of the XI International Scientific and Practical Conference. "Scientific readings named after Professor N. E. Zhukovsky". – Krasnodar, 2021. – pp. 198-206.
13. Zhidkov V. E. Metal coatings for increasing the durability of household machine parts / V. E. Zhidkov, V. P. Pankov // NaukaPark. – 2013. – № 6 (16). – Pp. 81-87.
14. Rummyantsev S. V. Investigation of microstructure and properties of deposited wear-resistant materials / S. V. Rummyantsev, V. P. Pankov: collection of scientific articles and materials of the XI International Scientific and Practical Conference. "Scientific readings named after Professor N.E. Zhukovsky". – Krasnodar, 2021. – pp. 13-19.
15. Pankov V. P. Investigation of wear resistance characteristics of coatings and deposited materials for the restoration of cast iron products / V.P. Pankov // Hardening technologies and coatings. – 2017. – № 9 (153). – Pp. 387-392.

Kovalev Vyacheslav Danilovich

Doctor of Technical Sciences, Professor
Head of Department of JSC "Electroavtomatika"
355016, Stavropol, Zavodskaya Str., 9
Tel. 8(918)751-26-72
E-mail kwd50@mail.ru

Pankov Vladimir Petrovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Professor of Krasnodar VVAUL
350090, Krasnodar, Dzerzhinskogo str., 135
Tel. 8(918)861-09-36
E-mail: pankowp61@list.ru

Radchenko Sergey Yuryevich

Orel State University named after I.S. Turgenev
Doctor of Technical Sciences, Professor, vice-rector for
scientific and technological activities and certification of
scientific personnel
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Tel: 8-905-169-88-99
E-mail: radsu@rambler.ru

Kulikov Maksim Valerievich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of Krasnodar VVAUL
350053, Krasnodar, Troitskaya str., 84/2-7
Tel. 8 (918) 130-01-41
E-mail: mvkulikov@list.ru

© В.Д. Ковалев, В.П. Панков, С.Ю. Радченко, М.В. Куликов, 2023

УДК 658.5:621.9

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-361-5-40-47

И.А. АЛЕКСАНДРОВ, А.Н. МУРАНОВ, Л.М. ЧЕРВЯКОВ

ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГИБКОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Аннотация. Работа посвящена анализу эффективности функционирования автоматизированных технологических линий, используемых в крупносерийном машиностроительном производстве. Основным оборудованием на таком типе производства являются гибкие автоматизированные линии, а улучшение эффективности в работе с ними, является важной организационно-технологической задачей. На сегодняшний день актуальна проблема обеспечения баланса между уровнем гибкости и экономической эффективностью таких производственных систем. В связи с этим целью работы является анализ параметров и характеристик, которые следует учитывать при проектировании и настройке гибких автоматизированных линий. Характерной чертой технологий машиностроения является необходимость обработки различной номенклатуры деталей, в том числе и неизвестных заранее форм-фактора и типоразмера, поэтому необходимо обеспечивать заданную ритмичность выпуска деталей, автоматизированную переналадку на обработку следующей модификации, а также учитывать, что модификации имеют аналогичные и отличающиеся поверхности, обработка которых может проходить на разных типах производства. В результате, – при разработке технологии следует руководствоваться принципом обеспечения высокой надежности достижения требуемого результата при минимальной переналадке на обработку. Рассмотренные в работе аспекты обеспечения гибкости машиностроительных производств могут быть полезны в рамках мероприятий по технологической подготовке и организации производства.

Ключевые слова: технология машиностроения, организация производства, автоматизированные линии, гибкость, переналадка, ритмичность, крупносерийное производство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Любимов, В. И. Организационно-технические основы гибкого автоматизированного производства / В. И. Любимов, К. Е. Белявин. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2012. – 200 с.
2. Клепиков, В. В. Технология машиностроения: технология гибких производственных систем: учебное пособие / В.В. Клепиков, В.Ф. Солдатов, В.И. Панчишин. – М.: МГИУ, 2010. – 135 с.
3. Поляков А. Ю. Автоматические линии и гибкие производства: учебно-методическое издание – Могилев: Белорусско-Российский университет, 2018. – 45 с.
4. Гусарев В. С. Структуры гибких производственных систем // Технологии, материалы, транспорт и логистика. – 2015. – Том 3, № 8. – С. 143-148.
5. Мамбеталиева, Г. С. Повышение эффективности применения гибких автоматических систем в машиностроительном производстве / Г. С. Мамбеталиева, О. Т. Манкешева // Современные проблемы гуманитарных и естественных наук: Материалы XXXIV международной научно-практической конференции, Москва, 27–28 апреля 2017 года. – Москва: Научно-информационный издательский центр «Институт стратегических исследований», 2017. – С. 28-30.
6. Создание гибких автоматизированных линий для решения задач сельскохозяйственного производства / С. Н. Волкова, Е. Е. Сивак, В. В. Морозова, Т. В. Белова // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 9. – С. 74-76.
7. Скворцова, Д. А. Принципы создания гибких производственных систем автоматизированной сборки / Д. А. Скворцова, А. В. Скворцов // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2006. – № 1. – С. 52-59.
8. Чепчуров М. С., Четвериков Б. С. Автоматизация производственных процессов: учебное пособие – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2019. – 274 с.
9. Павлов, Ю. А. Системный анализ уровней автоматизации камнеобрабатывающего производства / Ю. А. Павлов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № S1. – С. 49-61.
10. Турчанинова, Т. В. Многовариантность реализации сетевого графика комплекса работ и принцип нежесткого планирования и управления / Т. В. Турчанинова // Экономика промышленности. – 2011. – № 3. – С. 74-77.
11. Статическая настройка элементов технологической системы координатно-расточного станка при обработке отверстий / Б. М. Горшков, Н. С. Самохина, М. А. Рубцов, О. Ю. Ремнева // Автоматизация. Современные технологии. – 2016. – № 3. – С. 3-5.
12. Федуков, А. Г. Метод проектирования модулей линейных перемещений на базе унифицированных модулей / А. Г. Федуков // Транспортное машиностроение. – 2022. – № 12(12). – С. 26-35. – DOI 10.30987/2782-5957-2022-12-26-35.
13. Благих, И. А. Управление производственным циклом предприятия (организации) / И. А. Благих, Д. Ю. Сальников // Проблемы современной экономики. – 2010. – № 4(36). – С. 97-100.
14. Позднеева, В. В. Методические положения по формированию системы финансового планирования на предприятиях электроэнергетической отрасли / В. В. Позднеева // Современные тенденции в научной деятельности: Сборник материалов XXVII Международной научно-практической конференции, Москва, 22 ноября 2017 года. – Москва: Научный центр "Олимп", 2017. – С. 160-161.

Александров Ислам Александрович
 ИКТИ РАН, г. Москва, Россия
 кандидат технических наук,
 старший научный сотрудник
 Лаборатории №3
 Тел.: +7 (499) 978-97-93
 127055, г. Москва, Вадковский пер.,
 18 стр.1а
 E-mail: alexandrov@ikti.ru

Муранов Александр Николаевич
 ИКТИ РАН, г. Москва, Россия
 кандидат технических наук,
 старший научный сотрудник
 Лаборатории №3
 Тел.: +7 (499) 978-97-93
 127055, г. Москва, Вадковский
 пер., 18 стр.1а
 E-mail: muranov@ikti.ru

Червяков Леонид Михайлович
 ИКТИ РАН, г. Москва, Россия
 доктор технических наук,
 профессор,
 ведущий научный сотрудник
 Лаборатории №2
 Тел.: +7 (499) 978-97-93
 127055, г. Москва, Вадковский
 пер., 18 стр.1а
 E-mail: chervyakov@ikti.ru

I.A. ALEXANDROV, A.N. MURANOV, L.M. CHERVYAKOV

ISSUES OF PROVIDING FLEXIBILITY
 IN MACHINERY ENGINEERING PRODUCTION

Abstract. *The work is devoted to analyzing the operating efficiency of automated production lines used in large-scale machine-building production. The main equipment in this type of production is flexible automated lines, and improving the efficiency of working with them is an important organizational and technological task. Today, the problem of ensuring a balance between the level of flexibility and economic efficiency of such production systems is relevant. In*

this regard, the purpose of the work is to analyze the parameters and characteristics that should be taken into account when designing and setting up flexible automated lines. A characteristic feature of mechanical engineering technologies is the need to process a different range of parts, including form factors and standard sizes unknown in advance, therefore it is necessary to ensure a given rhythm of production of parts, automated readjustment for processing the next modification, and also take into account that modifications have similar and different surfaces, processing of which can take place in different types of production. As a result, when developing technology, one should be guided by the principle of ensuring high reliability of achieving the required result with minimal changeover for processing. The aspects of ensuring the flexibility of mechanical engineering production considered in the work can be useful within the framework of measures for technological preparation and organization of production.

Keywords: mechanical engineering technology, production organization, automated lines, flexibility, changeover, rhythm, large-scale production.

BIBLIOGRAPHY

1. Lyubimov, V. I. Organizacionno-tehnicheskie osnovy gibkogo avtomatizirovannogo proizvodstva / V. I. Lyubimov, K. E. Belyavin. – Minsk: Belorusskij nacionalnyj tekhnicheskij universitet, 2012. – 200 s.
2. Klepikov, V. V. Tekhnologiya mashinostroeniya: tekhnologiya gibkih proizvodstvennyh sistem: uchebnoe posobie / V.V. Klepikov, V.F. Soldatov, V.I. Panchishin. – M.: MGIU, 2010. – 135 s.
3. Polyakov A. YU. Avtomaticheskie linii i gibkie proizvodstva: uchebno-metodicheskoe izdanie – Mogilev: Belorussko-Rossijskij universitet, 2018. – 45 s.
4. Gusarev V. S. Struktury gibkih proizvodstvennyh sistem // Tekhnologii, materialy, transpor i logistika. – 2015. – Tom 3, № 8. – S. 143-148.
5. Mambetalieva, G. S. Povyshenie effektivnosti primeneniya gibkih avtomaticheskikh sistem v mashinostroitel'nom proizvodstve / G. S. Mambetalieva, O. T. Mankesheva // Sovremennye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk: Materialy XXXIV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Moskva, 27–28 aprelya 2017 goda. – Moskva: Nauchno-informacionnyj izdatelskij centr «Institut strategicheskikh issledovanij», 2017. – S. 28-30.
6. Sozdanie gibkih avtomatizirovannyh linij dlya resheniya zadach selskohozyajstvennogo proizvodstva / S. N. Volkova, E. E. Sivak, V. V. Morozova, T. V. Belova // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj selskohozyajstvennoj akademii. – 2016. – № 9. – S. 74-76.
7. Skvorcova, D. A. Principy sozdaniya gibkih proizvodstvennyh sistem avtomatizirovannoj sborki / D. A. Skvorcova, A. V. Skvorcov // Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin. – 2006. – № 1. – S. 52-59.
8. Chepchurov M. S., CHetverikov B. S. Avtomatizaciya proizvodstvennyh processov: uchebnoe posobie – M.: NIC INFRA-M, 2019. – 274 s.
9. Pavlov, YU. A. Sistemnyj analiz urovnej avtomatizacii kamneobrabatyvayushchego proizvodstva / YU. A. Pavlov // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten (nauchno-tehnicheskij zhurnal). – 2017. – № S1. – S. 49-61.
10. Turchaninova, T. V. Mnogovariantnost realizacii setevogo grafika kompleksa rabot i princip nezhestkogo planirovaniya i upravleniya / T. V. Turchaninova // Ekonomika promyshlennosti. – 2011. – № 3. – S. 74-77.
11. Statischeckaya nastrojka elementov tekhnologicheskoy sistemy koordinatno-rastoch'nogo stanka pri obrabotke otverstij / B. M. Gorshkov, N. S. Samohina, M. A. Rubcov, O. YU. Remneva // Avtomatizaciya. Sovremennye tekhnologii. – 2016. – № 3. – S. 3-5.
12. Fedukov, A. G. Metod proektirovaniya modulej linejnyh peremeshchenij na baze unificirovannyh modulej / A. G. Fedukov // Transportnoe mashinostroenie. – 2022. – № 12(12). – S. 26-35. – DOI 10.30987/2782-5957-2022-12-26-35.
13. Blagih, I. A. Upravlenie proizvodstvennym ciklom predpriyatiya (organizacii) / I. A. Blagih, D. YU. Salmikov // Problemy sovremennoj ekonomiki. – 2010. – № 4(36). – S. 97-100.
14. Pozdneeva, V. V. Metodicheskie polozheniya po formirovaniyu sistemy finansovogo planirovaniya na predpriyatiyah elektroenergeticheskoy otrasli / V. V. Pozdneeva // Sovremennye tendencii v nauchnoj deyatel'nosti: Sbornik materialov XXVII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Moskva, 22 noyabrya 2017 goda. – Moskva: Nauchnyj centr "Olimp", 2017. – S. 160-161..

Alexandrov Islam Alexandrovich
IDTI RAS, Moscow, Russia
candidate of technical sciences,
senior researcher at Laboratory No. 3
Phone: +7 (499) 978-97-93
127055, Moscow, Vadkovsky lane,
18 building 1a
E-mail: alexandrov@ikti.ru

Muranov Alexander Nikolaevich
IDTI RAS, Moscow, Russia
candidate of technical sciences,
senior researcher at Laboratory No. 3
Phone: +7 (499) 978-97-93
127055, Moscow, Vadkovsky lane,
18 building 1a
E-mail: muranov@ikti.ru

Chervyakov Leonid Mikhailovich
IDTI RAS, Moscow, Russia
Doctor of Technical Sciences,
Professor,
leading researcher at Laboratory No. 2
Phone: +7 (499) 978-97-93
127055, Moscow, Vadkovsky lane, 18
building 1a
E-mail: chervyakov@ikti.ru

МАШИНОВЕДЕНИЕ И МЕХАТРОНИКА

УДК 621.822

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-361-5-48-58

А.Ю. КОРНЕЕВ, ЛИ ШЭНБО, Е.В. МИЩЕНКО, Л.А. САВИН

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА ЛОМАКИНА НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ КОНИЧЕСКИХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ

Аннотация. Рассмотрены особенности влияния эффекта Ломакина на несущую способность конических гидродинамических подшипников (ГДП). Представлены результаты расчета несущей способности с учетом и без учета влияния данного эффекта. Проведен сравнительный анализ теоретических и экспериментальных данных.

Ключевые слова: конический гидродинамический подшипник, несущая способность (грузоподъемность), эффект Ломакина, математическая модель, результаты эксперимента.

Статья выполнена в рамках гранта Фуцзяньского провинциального научного фонда Китая (№ 2022J011249).

This project is supported by Fujian Provincial Natural Science Foundation, China (№ 2022J011249).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марцинковский В.А. Вибрации роторов центробежных машин. В 2 кн. Кн. 1. Гидродинамика дросселирующих каналов / В.А. Марцинковский.–Сумы:Изд-во СумГУ,2002.–337 с.
2. Ломакин А.А. Питательные насосы типа СВП-220-280 турбоустановки высоких параметров / А. А. Ломакин // Энергомашиностроение. – 1955. – № 2. – С.1-10.
3. Корнеев, А.Ю. Конические подшипники жидкостного трения: монография / А.Ю. Корнеев, Л.А. Савин, О.В. Соломин; под общ. ред. Л.А. Савина. – М: Машиностроение-1, 2008. – 172 с.
4. Корнеев А.Ю., Савин Л.А., Соломин О.В. Расчет статических характеристик конических опор жидкостного трения // Вестник машиностроения, №12, 2006. – С. 37-41.
5. Корнеев А.Ю., Ярославцев М.М. Определение функции полного зазора в конических подшипниках скольжения различной геометрической формы // Материалы научно-практической конференции «Образование, наука, производство и управление». Старый Оскол, 2008. – Т.5. – С. 76-81.
6. Korneev A.Yu. The determination of the complete gap function in different types of conical bearings / L. Sheng-Bo, A. Yu. Korneev, J.Hong-Yuan // Proceedings of the Ninth International Conference on Machine Learning and Cybernetics. - Qingdao, 2010. – Vol. 3. – P. 1249-1251.
7. Корнеев А.Ю. Определение обобщенной функции зазора при перекосе ротора в конических подшипниках жидкостного трения / А.Ю. Кольцов, А.Ю. Корнеев // Известия ОрелГТУ. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2013. - № 6/302. – С. 11-15.
8. Корнеев А.Ю. Математическая модель двухфазного неизотермического турбулентного течения смазочного материала в коническом гибридном подшипнике / А.Ю. Корнеев, Л.А. Савин, М.М. Ярославцев // Известия ОрелГТУ. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2009. - № 5/277 (576). – С. 66-72.
9. Корнеев А.Ю. Математическая модель неизотермического турбулентного течения смазочного материала в конических опорах жидкостного трения / А.Ю. Корнеев, Л.А. Савин, О.В. Соломин // Вестник машиностроения. – 2005. - № 7. – С. 37-42.
10. Коровчинский М.В. Теоретические основы работы подшипников скольжения. – М.: Машгиз, 1959. – 404 с.
11. Токарь И.Я. Проектирование и расчет опор трения / И.Я. Токарь. – Москва: Машиностроение, 1971. – 168 с.
12. Воскресенский В.А., Дьяков В.И. Расчет и проектирование опор скольжения (жидкостная смазка): Справочник. – М.: Машиностроение, 1980. – 224 с.
13. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик. – Москва: Наука, 1972. – 720 с.
14. Максимов В.А. Высокоскоростные опоры скольжения гидродинамического трения / В.А. Максимов, Г.С. Баткис. – Казань: Фэн, 2004. – 406 с.
15. Корнеев А.Ю. Аппроксимация теплофизических свойств турбинных масел / А.Ю. Корнеев, М.М. Ярославцев // Автоматизированные системы проектирования и научных исследований технических систем: материалы II-ой Всеросс. научно-методической конференции «ОПиДМ – XXI век». – Орел: Изд-во ОрелГТУ, 2010. – Ч. 2. – С. 89-92.
16. Подшипники скольжения: расчет, проектирование, смазка / Н.Типей [и др.]. – Бухарест: Изд-во АН РНР, 1964. – 458 с.

17. Савин Л.А. Моделирование роторных систем с опорами жидкостного трения: монография / Л.А. Савин, О.В. Соломин. – Москва: Машиностроение-1, 2006. – 444 с.
18. Корнеев А.Ю. Методология расчета и динамический анализ конических подшипников жидкостного трения: диссертация доктора техн. наук: 2.5.2 Машиноведение (технические науки) / Корнеев Андрей Юрьевич. – Орел, 2021. – 368 с.
19. Корнеев А.Ю. Численное решение уравнения Рейнольдса на развертке конического гидродинамического подшипника / О.В. Соломин, А.Ю. Корнеев, А.О. Пугачев // *Авиакосмические технологии: сборник трудов третьей Междунар. науч.-техн. конф.* – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2002. – С. 79-82.
20. Корнеев А.Ю. Численное определение поля давлений в конических опорах жидкостного трения / О.В. Соломин, А.Ю. Корнеев // *Вестник машиностроения.* – 2005. - № 8. – С. 46-50.
21. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2016615350. Расчет характеристик гидростатодинамических подшипников с коническими поверхностями / А.Ю. Корнеев, А.Ю. Кольцов, Л.А. Савин [и др.]. - Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 20.05.2016 г.
22. Корнеев А. Ю. Методика проведения опытных исследований конических подшипников скольжения (КПС) / А. Ю. Корнеев // *Материалы Всеросс. науч.-метод. конф. «Основы проектирования и детали машин – XXI век»*, Орел: Изд-во ОрелГТУ, 2007. – С. 344–349.
23. Корнеев А. Ю. Экспериментальный стенд для исследования характеристик конических опор скольжения / А. Ю. Корнеев, Т. Ю. Корнеева // *Материалы III междунар. научн. симпозиума «Ударно-вибрационные системы, машины и технологии»*, Орел: Изд-во ОрелГТУ, 2006. – С. 493 – 498.
24. Корнеев, А.Ю. Особенности проекторочного расчета конических подшипников жидкостного трения / А.Ю. Корнеев, Л.А. Савин // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.* – 2013. - № 3 (299). – С. 3-8.

Корнеев Андрей Юрьевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302030, г. Орел, ул. Московская, 34
Декан факультета среднего профессионального образования,
Доктор технических наук, доцент
Тел. 8-906-662-44-22
E-mail: korneev_andrey@mail.ru

Ли Шэнбо (Li Shengbo)

Институт машиностроения и автомобилестроения
Сямыньского технологического университета
361024, г. Сямынь, КНР, округ Джимей,
ул. Лигонг, 600
Кандидат технических наук, доцент кафедры
мехатроники
Тел. +86-133-9599-49-20
E-mail: hit4057@xmut.edu.cn

Мищенко Елена Владимировна

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина»
302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69
Кандидат технических наук, доцент кафедры
техносферной безопасности
Тел. 8-953-623-22-45
E-mail: art_lena@inbox.ru

Савин Леонид Алексеевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Доктор технических наук, профессор кафедры
мехатроники, механики и робототехники
Тел. (4862) 41-98-85
E-mail: savin@ostu.ru

A.YU. KORNEEV, LI SHENGBO, E.V. MISHCHENKO, L.A. SAVIN

THE LOMAKINS EFFECT ON THE LOAD-CARRYING CAPACITY OF THE CONICAL FLUID FILM BEARINGS

Abstract. *The Lomakins effect on the load-carrying capacity of the conical fluid film bearings is considered. The results of the calculation of the load-carrying capacity with and without Lomakins effect are presented. The comparative analysis of theoretical and experimental data is carrying out.*

Keywords: *conical fluid film bearing, load-carrying capacity, Lomakins effect, mathematical model, experimental results.*

BIBLIOGRAPHY

1. Martsinkovskiy V.A. Vibratsii rotorov tsentrobezhnykh mashin. V 2 kn. Kn. 1. Gidrodinamika drosseliruyushchikh kanalov / V.A. Martsinkovskiy. – Sumy: Izd-vo SumGU, 2002. – 337 s.
2. Lomakin A.A. Pitatelnyye nasosy tipa SVP-220-280 turbostanovki vysokikh parametrov / A. A. Lomakin // *Energomashinostroyeniye.* – 1955. – № 2. – С.1-10.
3. Korneyev, A.YU. Konicheskiye podshpniki zhidkostnogo treniya: monografiya / A.YU. Korneyev, L.A. Savin, O.V. Solomin; pod obshch. red. L.A. Savina. – M: Mashinostroyeniye-1, 2008. – 172 s.
4. Korneyev A.YU., Savin L.A., Solomin O.V. Raschet staticheskikh kharakteristik konicheskikh opor zhidkostnogo treniya // *Vestnik mashinostroyeniya*, №12, 2006. – С. 37-41.
5. Korneyev A.YU., Yaroslavtsev M.M. Opredeleniye funktsii polnogo zazora v konicheskikh podshpnikakh skolzheniya razlichnoy geometricheskoy formy // *Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Obrazovaniye, nauka, proizvodstvo i upravleniye»*. Staryy Oskol, 2008. – Т.5. – С. 76-81.

6. Korneev A.Yu. The determination of the complete gap function in different types of conical bearings / L. Sheng-Bo, A. Yu. Korneev, J.Hong-Yuan // Proceedings of the Ninth International Conference on Machine Learning and Cybernetics. - Qingdao, 2010. - Vol. 3. - P. 1249-1251.
7. Korneev A.YU. Opredeleniye obobshchennoy funktsii zazora pri perekose rotora v konicheskikh podshipnikakh zhidkostnogo treniya / A.YU. Koltsov, A.YU. Korneyev // Izvestiya OrelGTU. Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. - 2013. - № 6/302. - S. 11-15.
8. Korneyev A.YU. Matematicheskaya model dvukhfaznogo neizotermicheskogo turbulentnogo techeniya smazochnogo materiala v konicheskom gibridnom podshipnike / A.YU. Korneyev, L.A. Savin, M.M. Yaroslavtsev // Izvestiya OrelGTU. Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. - 2009. - № 5/277 (576). - S. 66-72.
9. Korneyev A.YU. Matematicheskaya model neizotermicheskogo turbulentnogo techeniya smazochnogo materiala v konicheskikh oporakh zhidkostnogo treniya / A.YU. Korneyev, L.A. Savin, O.V. Solomin // Vestnik mashinostroyeniya. - 2005. - № 7. - S. 37-42.
10. Korovchinskiy M.V. Teoreticheskiye osnovy raboty podshipnikov skolzheniya. - M.: Mashgiz, 1959. - 404 s.
11. Tokar I.YA. Proyektirovaniye i raschet opor treniya / I.YA. Tokar. - Moskva: Mashinostroyeniye, 1971. - 168 s.
12. Voskresenskiy V.A., Dyakov V.I. Raschet i proyektirovaniye opor skolzheniya (zhidkostnaya smazka): Spravochnik. - M.: Mashinostroyeniye, 1980. - 224 s.
13. Vargaftik N.B. Spravochnik po teplofizicheskim svoystvam gazov i zhidkostey / N.B. Vargaftik. - Moskva: Nauka, 1972. - 720 s.
14. Maksimov V.A. Vysokoskorostnyye opory skolzheniya gidrodinamicheskogo treniya / V.A. Maksimov, G.S. Batkis. - Kazan: Fen, 2004. - 406 s.
15. Korneyev A.YU. Approksimatsiya teplofizicheskikh svoystv turbinnykh masel / A.YU. Korneyev, M.M. Yaro-slavtsev // Avtomatizirovannyye sistemy proyektirovaniya i nauchnykh issledovaniy tekhnicheskikh sistem: materialy II-oy Vseross. nauchno-metodicheskoy konferentsii «OPiDM – XXI vek». - Orel: Izd-vo OrelGTU, 2010. - CH. 2. - S. 89-92.
16. Podshipniki skolzheniya: raschet, proyektirovaniye, smazka / N.Tipey [i dr.]. - Bukharest: Izd-vo AN RNR, 1964. - 458 s.
17. Savin L.A. Modelirovaniye rotornykh sistem s oporami zhidkostnogo treniya: monografiya / L.A. Savin, O.V. Solomin. - Moskva: Mashinostroyeniye-1, 2006. - 444 s.
18. Korneyev A.YU. Metodologiya rascheta i dinamicheskii analiz konicheskikh podshipnikov zhidkostnogo treniya: dissertatsiya doktora tekhn. nauk: 2.5.2 Mashinovedeniye (tekhnicheskkiye nauki) / Korneyev Andrey Yuryevich. - Orel, 2021. - 368 s.
19. Korneyev A.YU. Chislennoye resheniye uravneniya Reynoldsa na razvertke konicheskogo gidrodinamicheskogo podshipnika / O.V. Solomin, A.YU. Korneyev, A.O. Pugachev // Aviakosmicheskkiye tekhnologii: sbornik trudov tretyey Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. - Voronezh: Izd-vo VGTU, 2002. - S. 79-82.
20. Korneyev A.YU. Chislennoye opredeleniye polya davleniy v konicheskikh oporakh zhidkostnogo treniya / O.V. Solomin, A.YU. Korneyev // Vestnik mashinostroyeniya. - 2005. - № 8. - S. 46-50.
21. Svidetelstvo ob ofitsialnoy registratsii programmy dlya EVM №2016615350. Raschet kharakteristik gidrostatodinamicheskikh podshipnikov s konicheskimi poverkhnostyami / A.YU. Korneyev, A.YU. Koltsov, L.A. Savin [i dr.]. - Zaregistrirovano v Reyestre programm dlya EVM 20.05.2016 g.
22. Korneyev A. YU. Metodika provedeniya opytnykh issledovaniy konicheskikh podshipnikov skolzheniya (KPS) / A. YU. Korneyev // Materialy Vseross. nauch.-metod. konf. «Osnovy proyektirovaniya i detali mashin – XXI vek», Orel: Izd-vo OrelGTU, 2007. - S. 344–349.
23. Korneyev A. YU. Eksperimentalnyy stand dlya issledovaniya kharakteristik konicheskikh opor skol-zheniya / A. YU. Korneyev, T. YU. Korneyeva // Materialy III mezhdunar. nauchn. simpoziuma «Udarno-vibratsionnyye sistemy, mashiny i tekhnologii», Orel: Izd-vo OrelGTU, 2006. - S. 493 – 498.
24. Korneyev, A.YU. Osobennosti proyektirovochnogo rascheta konicheskikh podshipnikov zhidkostnogo treniya / A.YU. Korneyev, L.A. Savin //Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. - 2013. - № 3 (299). - S. 3-8.

Korneev Andrey Yurievich

Orel State University named after I.S. Turgenev,
302030, Orel, Moskovskaya street, 34
Dean of faculty of mean professional education
Doctor of technical sciences, assistant professor
Tel. 8-906-662-44-22
E-mail: korneev_andrey@mail.ru

Li Shengbo

Xiamen University of Technology, School of
Mechanical
and Automotive Engineering,
candidate of technical sciences, assistant professor
of department of mechatronics
361024, 600 Ligong Road, Jimei District, Xiamen,
China
Tel. +86-133-9599-49-20
E-mail: hit4057@xmut.edu.cn

Mishchenko Elena Vladimirovna

Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin,
302019, Orel, Generala Rodina street, 69
Candidate of technical sciences, assistant professor
of department of technosphere safety
Tel. 8-953-623-22-45

Savin Leonid Alekseevich

Orel State University named after I.S. Turgenev
302020, Orel, Naugorskoe highway, 29
Doctor of technical sciences, professor of department of
mechatronics, mechanics and robotics
Tel. 8-960-548-46-61

А.Ю. РОДИЧЕВ, А.В. ВНУКОВ, И.В. РОДИЧЕВА, К.В. ВАСИЛЬЕВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ УЗЕЛ ЛАБИРИНТНЫХ УПЛОТНЕНИЙ В МЕХАТРОННЫХ МЕХАНИЗМАХ

Аннотация. В статье рассматриваются основные причины модернизации ранее разработанного узла лабиринтных уплотнений для проведения экспериментальных исследований. Авторы предлагают качественно новую компоновочную схему уплотнительного узла, которая позволяет получать данные по ряду параметров в реальном времени. Представлена структурно-функциональная схема информационно-измерительной системы. Описана элементная база информационно-измерительной системы. Показаны результаты экспериментальных исследований лабиринтных уплотнений. Представлены зависимости изменения давления в камерах лабиринтного уплотнения, а так же график измерения температуры подъемных площадок.

Ключевые слова: лабиринтное уплотнение, подшипник скольжения, эксперимент, исследование, температура, параметры, давление, поток воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко М.Э., Поляков Р.Н., Токмакова М.А., Серебренников А.Д. Анализ экспериментальных исследований активной комбинированной опоры ротора / *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии* №1(357) – 2023. С.133 – 140.
2. Steinetz, V.M., Hendricks, R.C., and Munson, J., *Advanced Seal Technology Role in Meeting Next Generation Turbine Engine Goals*, NASA TM-1998-206961, April 1998..
3. Сыгин А.В. Решение комплексной задачи расчета характеристик радиальных лепестковых газодинамических подшипников: дис. канд. техн. наук: 01.02.06 / Сыгин Антон Валерьевич. - Орёл, 2008. – 201 с.
4. Non-contacting Finger Seal Developments and Design Considerations: Thermofluid and Dynamics Characterization, Experimental / M.J. Braun, H.M. Pierson, D. Deng // *NASA/CP-2005-213655/V.1*, – pp. 181–208.
5. Дзева, И.Ю. Математическое моделирование работы бесконтактного пальчикового уплотнения турбомшины дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. (05.13.18, 01.02.06) / Дзева Иван Юрьевич; Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана. - Москва, 2015. - 164 с.
6. Marie, H. *A Study of Non-Contacting Passive-Adaptive Turbine Finger Seal Performance*, Volume 1, Ph.D Dissertation, University of Akron, Akron, OH, 2005
7. Шутин Д.В., Настепанин К.К. Управление сервоклапанами для реализации активной смазки гидростатодинамических подшипников / *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии* №3(359) – 2023. С.137 – 144.
8. Р.Н. Поляков, А.В. Внуков, М.А. Токмакова, И.В. Родичева. Исследование лабиринтных уплотнений в мехатронных механизмах / *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии* №6(350) – 2021. С.71 – 77.

Родичев Алексей Юрьевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»,
канд. техн. наук, доцент кафедры
мехатроники, механики и робототехники
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе,29
E-mail: rodfox@yandex.ru

Внуков Алексей Васильевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
соискатель
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: rodfox@yandex.ru

Родичева Ирина Владимировна
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
аспирант
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: rodfox@yandex.ru

Васильев Кирилл Владимирович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
студент
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: rodfox@yandex.ru

A.Yu. RODICHEV, A.V. VNUKOV, I.V. RODICHEVA, K.V. VASILIEV

EXPERIMENTAL ASSEMBLY OF LABYRINTH SEALS IN MECHATRONIC MECHANISMS

Abstract. *The article discusses the main reasons for the modernization of the previously developed labyrinth seal assembly for experimental studies. The authors propose a qualitatively new layout scheme of the sealing assembly, which allows obtaining data on a number of parameters in real time. The structural-functional diagram of the information-measuring system is presented. The element base of the information-measuring system is described. The results of experimental studies of labyrinth seals are shown. The dependences of the pressure change in the labyrinth seal chambers are presented, as well as a graph for measuring the temperature of the lifting platforms.*

Keywords: *labyrinth seal, plain bearing, experiment, research, temperature, parameters, pressure, air flow.*

BIBLIOGRAPHY

1. Bondarenko M.E., Polyakov R.N., Tokmakova M.A., Serebrennikov A.D. Analysis of experimental studies of the active combined rotor support / Fundamental and applied problems of engineering and technology No. 1 (357) - 2023. P. 133 - 140.
2. Steinetz, B.M., Hendricks, R.C., and Munson, J., Advanced Seal Technology Role in Meeting Next Generation Turbine Engine Goals, NASA TM-1998-206961, April 1998..
3. Sytin A.V. Solution of a complex problem of calculating the characteristics of radial petal gas-dynamic bearings: dis. cand. tech. Sciences: 01.02.06 / Sytin Anton Valerievich. - Eagle, 2008. - 201 p.
4. Non-contacting Finger Seal Developments and Design Considerations: Thermofluid and Dynamics Characterization, Experimental / M.J. Braun, H.M. Pierson, D. Deng // NASA/CP-2005-213655/V.1, pp. 181-208.
5. Dzeva, I.Yu. Mathematical modeling of the operation of a non-contact finger seal of a turbomachine dis. on the competition scientist step. cand. tech. Sciences. (05.13.18, 01.02.06) / Dzeva Ivan Yurievich; Moscow State Technical University named after N. E. Bauman. - Moscow, 2015. - 164 p.
6. Marie, H. A Study of Non-Contacting Passive-Adaptive Turbine Finger Seal Performance, Volume 1, Ph.D Dissertation, University of Akron, Akron, OH, 2005
7. Shutin D.V., Nastepanin K.K. Control of servo valves for the implementation of active lubrication of hydrostatic dynamic bearings / Fundamental and applied problems of engineering and technology No. 3 (359) - 2023. P. 137 - 144.
8. R.N. Polyakov, A.V. Vnukov, M.A. Tokmakova, I.V. Rodichev. Study of labyrinth seals in mechatronic mechanisms / Fundamental and applied problems of engineering and technology No. 6 (350) - 2021. P. 71 - 77.

Rodichev Alexey Yurievich

Orel State University named after I.S. Turgenev
candidate of technical sciences, associate professor of the
department mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: rodfox@yandex.ru

Vnukov Alexey Vasilevich

Orel State University named after I.S. Turgenev
applicant
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: rodfox@yandex.ru

Rodicheva Irina Vladimirovna

Orel State University named after I.S. Turgenev
graduate student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: rodfox@yandex.ru

Vasiliev Kirill Vladimirovich

Orel State University named after I.S. Turgenev
student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: rodfox@yandex.ru

© А.Ю. Родичев, А.В. Внук, И.В. Родичева, К.В. Васильев, 2023

УДК 621.822

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-361-5-65-71

А.В. ГОРИН, Р.Н. ПОЛЯКОВ, Л.С. УШАКОВ, А.Д. СЕРЕБРЕННИКОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАТРОННОГО МЕХАНИЗМА НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНОГО ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРИВОДА

Аннотация: *в статье рассматриваются основные принципы построения динамической модели. Описывается математическая модель мехатронного механизма на основе импульсного гидропневматического привода. Представлено упрощенное представление нагружения позволяющее выполнить расчеты на требуемом уровне. Показаны зависимости полученные в ходе выполнения вычислительного эксперимента подтверждающие адекватность построенной математической модели мехатронного механизма на основе импульсного гидропневматического привода.*

Ключевые слова: *моделирование, математическая модель, гидропривод, импульс, модель грунта, скорость, энергия удара.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушаков, Л.С. Гидравлические машины ударного действия / Л.С. Ушаков, Ю.Е. Котылев, В.А. Кравченко. – М.: Машиностроение, 2000. - 416 с.
2. Горин, А.В. Объемный гидропривод комбинированной машины для образования скважин в грунтах: монография / А.В. Горин, Д.Н. Ешуткин, М.А. Горина. - Орел: Госуниверситет - УНПК, 2015. – 127 с.
3. Горин, А.В. Применение гидравлических машин ударного действия для образования скважин в грунтах: монография / А.В. Горин, Д.Н. Ешуткин, М.А. Горина. - Орел: Госуниверситет - УНПК, 2015. – 151 с.
4. Бондаренко, М.Э., Поляков Р.Н., Токмакова М.А., Серебренников А.Д. Анализ экспериментальных исследований активной комбинированной опоры ротора / *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии* №1(357) – 2023. С.133 – 140.
5. Ешуткин, Д.Н. Высокопроизводительные гидропневматические ударные машины для прокладки инженерных коммуникаций: учебное пособие для вузов / Д.Н.Ешуткин, Ю.М.Смирнов, В.И.Цой, В.Л.Исаев. – М.: Стройиздат, 1990. – 171с.
7. Ешуткин, Д.Н. Прикладная теория гидравлических машин ударного действия: монография / Ешуткин Д.Н., Котылев Ю.Е. – М.: Машиностроение - 1, 2007. – 176с.
8. Шутин Д.В., Настепанин К.К. Управление сервоклапанами для реализации активной смазки гидростатодинамических подшипников / *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии* №3(359) – 2023. С.137 – 144.
9. Р.Н. Поляков, А.В. Внуков, М.А. Токмакова, И.В. Родичева. Исследование лабиринтных уплотнений в мехатронных механизмах / *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии* №6(350) – 2021. С.71 – 77.
10. Горин, А.В. Моделирование привода статико-динамической машины для бестраншейного строительства трубопроводов [Текст] / Д.Н. Ешуткин, А.В. Журавлева, А.В. Горин // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – Орел: Изд-во ФГОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК» – 2011. – № 3 (287). – С. 20-26.
11. Горин, А.В. Влияние смазочного материала на работу импульсного гидропневматического привода / А.В. Горин, Л.С. Ушаков, А.В. Горин // *Гидродинамическая теория смазки-120 лет: труды междунар. науч. симп. В 2 т.* – М.: Машиностроение-1; Орел: ОрелГТУ, 2006. – Т. 2. - С. 122-124.

Горин Андрей Владимирович

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
канд. техн. наук, доцент
кафедры мехатроники, механики и робототехники
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: gorin57@mail.ru

Ушаков Леонид Семенович

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
доктор. техн. наук, профессор кафедры дорожные
строительные и подъемно-транспортные машины
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: gorin57@mail.ru

Поляков Роман Николаевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
доктор. техн. наук, доцент заведующий кафедрой
мехатроники, механики и робототехники
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: romanpolak@mail.ru

Серебренников Антон Дмитриевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
студент
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: silver 57@mail.ru

A.V. GORIN, R.N. POLYAKOV, L.S. USHAKOV, A.D. SEREBRNIKOV

**SIMULATION OF A MECHATRONIC MECHANISM BASED
ON A PULSE HYDROPNEUMATIC DRIVE**

Abstract. *The article discusses the basic principles of building a dynamic model. A mathematical model of a mechatronic mechanism based on a pulsed hydropneumatic drive is described. A simplified representation of the loading is presented, which allows performing calculations at the required level. The dependences obtained during the execution of the computational experiment are shown, confirming the adequacy of the constructed mathematical model of the mechatronic mechanism based on a pulsed hydropneumatic drive.*

Keywords: *modeling, mathematical model, hydraulic drive, momentum, soil model, speed, impact energy.*

BIBLIOGRAPHY

1. Ushakov, L.S. Hydraulic impact machines / L.S. Ushakov, Yu.E. Kotylev, V.A. Kravchenko. - M.: Mashinostroenie, 2000. - 416 p.
2. Gorin, A.V. Volumetric hydraulic drive of a combined machine for the formation of wells in soils: monograph / A.V. Gorin, D.N. Yeshutkin, M.A. Gorin. Eagle: State University - UNPK, 2015. - 127 p.
3. Gorin, A.V. The use of hydraulic impact machines for the formation of wells in soils: monograph / A.V. Gorin, D.N. Yeshutkin, M.A. Gorin. Eagle: State University - UNPK, 2015. - 151 p.
4. Bondarenko, M.E., Polyakov R.N., Tokmakova M.A., Serebrennikov A.D. Analysis of experimental studies of the active combined rotor support / *Fundamental and applied problems of engineering and technology* No. 1 (357) - 2023. P. 133 - 140.
5. Yeshutkin, D.N. Eshutkin D.N., Smirnov Yu.M. – М.: Stroyizdat, 1990. – 171p.

7. Yeshutkin, D.N. Applied theory of shock hydraulic machines: monograph / Eshutkin D.N., Kotylev Yu.E. - M.: Mashinostroenie - 1, 2007. - 176s.
8. Shutin D.V., Nastepanin K.K. Control of servo valves for the implementation of active lubrication of hydrostatic dynamic bearings / Fundamental and applied problems of engineering and technology No. 3 (359) - 2023. P. 137 - 144.
9. R.N. Polyakov, A.V. Vnukov, M.A. Tokmakova, I.V. Rodichev. Study of labyrinth seals in mechatronic mechanisms / Fundamental and applied problems of engineering and technology No. 6 (350) - 2021. P. 71 - 77.
10. Gorin, A.V. Modeling the drive of a static-dynamic machine for trenchless pipeline construction [Text] / D.N. Yeshutkin, A.V. Zhuravleva, A.V. Gorin // Fundamental and applied problems of engineering and technology. - Orel: Publishing House of FGOU VPO "State University - UNPK" - 2011. - No. 3 (287). - S. 20-26.
11. Gorin, A.V. Influence of a lubricant on the operation of an impulse hydropneumatic drive / A.V. Gorin, L.S. Ushakov, A.V. Gorin // Hydrodynamic theory of lubrication-120 years: Proceedings of the Intern. scientific symp. In 2 volumes - M.: Mashinostroenie-1; Orel: OrelGTU, 2006. - T. 2. - S. 122-124.

Polyakov Rman Nikolaevich

Orel State University named after I.S. Turgenev
doctor of technical Sciences, associate professor of the
department mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: romanpolak@mail.ru

Ushakov Leonid Semyonovich

Orel State University named after I.S. Turgenev
doctor of technical Sciences, associate professor of the
department construction, road
and material handling machines
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: gorin57@mail.ru

Gorin Andrei Vladimirovich

Orel State University named after I.S. Turgenev
candidate of technical sciences, associate professor of the
department mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: gorin57@mail.ru

Serebrennikov Artem Dmitrievich

Orel State University named after I.S. Turgenev
student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: silver57@mail.ru

© А.В. Горин, Р.Н. Поляков, Л.С. Ушаков, А.Д. Серебренников, 2023

УДК 621.822

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-361-5-72-79

А.В. СЫТИН, С.А. ВЛАСОВА, А.Д. СЕРЕБРЕННИКОВ, К.В. СМИРНОВА

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК УПОРНОГО ЛЕПЕСТКОВОГО ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА СОВМЕСТНЫМ РЕШЕНИЕМ ЗАДАЧ ГАЗОДИНАМИКИ И ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

Аннотация В настоящей работе представлено математическое моделирование установившейся работы роторно-подшипниковой системы, содержащей упорный лепестковый подшипник. Моделирование рассматриваемого подшипника основано на итерационном решении уравнения Рейнольдса и дополнительных выражений, позволяющих определить деформацию упругих элементов. Результаты настоящего исследования показывают, как изменение геометрических параметров, т.е. толщины верхней части и гофрированного элемента, расстояния между отдельными выступами влияет на работу рассматриваемого подшипника.

Ключевые слова: упорный лепестковый газовый подшипник (УЛГП); износ упругих элементов; ресурс роторно-опорной системы; метод конечных разностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сержкина, Л.П. Осевые подшипники мощных паровых турбин / Л.П. Сержкина, Е.И. Зарецкий. – М.: Машиностроение, 1988. – 176 с.: ил.
2. Н.А. Спицын, Опоры осей и валов машин и приборов / Н.А. Спицын. – М.: Машиностроение, 1970. – 520 с.
3. Алехин, А.В. Несущая способность и динамические характеристики упорных подшипников жидкостного трения: Дисс... канд. техн. наук. – Оrel, 2005. – 171 с.
4. С.А. Герасимов, Влияние демпфирования и параметров осевых сов-мещенных опор на динамику роторов: дисс.... канд. техн. наук: 01.02.06 / Герасимов Сергей Анатольевич; Оrel, 2011.- 170 с.
5. А.В. Сытин, Лепестковые газодинамические подшипники: применение и технические решения: монография / А.В. Сытин, Л.А. Савин; Оrel: ОГУ, 2016. – 196 с.
6. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластины и оболочки. – М.: Наука, 1966. – 636 с.
7. Ермилов Ю.И., Равикович Ю.А. Экспериментальное определение предельной несущей способности осевых лепестковых подшипников газодинамических подшипников малоразмерных высокооборотных турбомашин // Вестник Московского Авиационного Института. Том 15, 2008. №3. с. 74–82.

8. Левина Г.А., Бояршинова А.К., Определение реакций лепесткового под-пятника с газовым смазочным слоем. – *Машиноведение АН СССР*, 1985, с.82-88.
9. Хешмет, Уоловит, Пинкус. Анализ податливого газового упорного под-шипника. - *Проблемы трения и смазки*, 1983, №4.
10. Пешти Ю.В. Газовая смазка / Ю.В. Пешти // М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1993.– 382 с.
11. Новиков, Е. А. Метод расчета и разработка упорных гидростатических подшипников, смазываемых маловязкими жидкостями: Дисс... канд. техн. наук. – Казань, 2003. – 146 с.
12. Подольский, М. Е. Упорные подшипники скольжения: Теория и расчёт / М. Е. Подольский – Л.: Машиностроение, 1981. – 261с.
13. Ямпольский, И.Д. Результаты испытаний упорных сегментных подшипников при смазке их маслом и водой / И. Д. Ямпольский [и др.] // Исследование и совершенствование элементов паротурбинных установок: Сборник статей Научно-исследовательского центра Калужского турбинного завода. – Калуга: Манускрипт. – 2002, С. 39–46.

Сытин Антон Валерьевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»,
канд. техн. наук, доцент кафедры
кафедры мехатроники, механики и робототехники
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: sytin@mail.ru

Власова Светлана Александровна

ФГКВБОУ ВО «Академия Федеральной службы
охраны Российской Федерации», г. Орел
сотрудник
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: sytin@mail.ru

Серебrenников Антон Дмитриевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
студент
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: silver57@mail.ru

Смирнова Кристина Владимировна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
студент
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: kristinka_boom@yandex.ru

A.V. SITIN, V.S. VLASOVA, A.D. SEREBRENNIKOV, K.V. SMIRNOVA

**CALCULATION OF THE CHARACTERISTICS OF THE THRUST LEAF
GAS DYNAMIC BEARING BY JOINT SOLUTION OF GAS DYNAMICS
AND ELASTICITY THEORY PROBLEMS**

Abstract. *This paper presents mathematical modeling of the steady-state operation of a rotor-bearing system containing a thrust lobe bearing. Modeling of the bearing under consideration is based on the iterative solution of the Reynolds equation and additional expressions that allow determining the deformation of the elastic elements. The results of the present study show how changing the geometric parameters, e.g. the thickness of the upper part and the corrugated element, the distance between the individual protrusions affects the operation of the bearing in question.*

Keywords: *thrust vane gas bearing (ULGP); wear of elastic elements; service life of the rotor support system; finite difference method.*

BIBLIOGRAPHY

1. Serezhkina, L.P. Axial bearings of powerful steam turbines / L.P. Serezhkina, E.I. Zaretsky. – М.: Mechanical Engineering, 1988. – 176 p.: ill.
2. N.A. Spitsyn, Supports of axes and shafts of machines and devices / N.A. Sleep-tsyn. – М.: Mechanical Engineering, 1970. – 520 p.
3. Alekhin, A.V. Load-bearing capacity and dynamic characteristics of fluid friction thrust bearings: Diss... cand. tech. Sci. – Orel, 2005. – 171 p.
4. S.A. Gerasimov, The influence of damping and parameters of axial combined supports on the dynamics of rotors: dissertation...cand. tech. Sciences: 01.02.06 / Gerasimov Sergey Anatolevich; Orel, 2011.- 170 p.
5. A.V. Sytin, Leaf gas-dynamic bearings: application and technical solutions: monograph / A.V. Sytin, L.A. Savin; Orel: OSU, 2016. – 196 p.
6. Timoshenko S.P., Voinovsky-Krieger S. Plates and shells. – М.: Nauka, 1966. – 636 p.
7. Ermilov Yu.I., Ravikovich Yu.A. Experimental determination of the maximum load-bearing capacity of axial petal bearings of gas-dynamic bearings of small-sized high-speed turbomachines // *Bulletin of the Moscow Aviation Institute*. Volume 15, 2008. No. 3. With. 74–82.
8. Levina G.A., Boyarshinova A.K., Determination of reactions of a petal bearing with a gas lubricating layer. – *Mechanical Science of the USSR Academy of Sciences*, 1985, p.82-88.
9. Heshmet, Wolowit, Pincus. Analysis of a compliant gas thrust bearing. - *Problems of friction and lubrication*, 1983, No. 4.
10. Peshti Yu.V. Gas lubrication / Yu.V. Peshti // М.: MSTU im. N.E. Bauman, 1993.– 382 p.

11. Novikov, E. A. Calculation method and development of thrust hydrostatic bearings lubricated with low-viscosity liquids: Diss... cand. tech. Sci. – Kazan, 2003. – 146 p.
 12. Podolsky, M. E. Thrust bearings: Theory and calculation / M. E. Podolsky - L.: Mashinostroenie, 1981. - 261 p.
 13. Yampolsky, I.D. Results of tests of thrust segment bearings when lubricated with oil and water / I. D. Yampolsky [et al.] // Research and improvement of elements of steam turbine plants: Collection of articles of the Research Center of the Kaluga Turbine Plant. – Kaluga: Manuscript. – 2002, pp. 39–46.

Sytin Anton Valerievich

Orel State University named after I.S. Turgenev
 candidate of technical sciences, associate professor of the
 department mechatronics, mechanics and robotics
 302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
 E-mail: sitin@mail.ru

Vlasova Svetlana Alexandrovna

Academy of the Federal Security Service of the Russian
 Federation, Orel
 employee
 302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
 E-mail: sitin@mail.ru

Serebrennikov Artem Dmitrievich

Orel State University named after I.S. Turgenev
 student
 302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
 E-mail: silver57@mail.ru

Smirnova Kristina Vladimirovna

Orel State University named after I.S. Turgenev
 student
 302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
 E-mail: kristinka_boom@yandex.ru

© А.В. Сытин, С.А. Власова, А.Д. Серебренников, К.В. Смирнова, 2023

УДК 621.822

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-361-5-80-90

А.Ю. КОРНЕЕВ, ЛИ ШЭНБО, Е.В. МИЩЕНКО, Л.А. САВИН

ОПИСАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК КОНИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ

Аннотация. В статье представлено описание интерфейса программного обеспечения для расчета характеристик конических подшипников жидкостного трения. Особенностью программного обеспечения является возможность расчета различных типов конических подшипников как по принципу создания давления в смазочном слое (гидродинамических или гидростатических), так и различной геометрической формы (гладких, многоклиновых, с камерами). Результаты расчета характеристик (несущей способности, расхода смазочного материала, потерь мощности на трение и прокачку) в среде MathCAD представлены в удобном для дальнейшей обработки виде, в т.ч. визуализация в виде 3-D разверток полей давлений, температур, энтальпий и др. Траектории движения ротора рассчитываются в среде MatLab и могут быть представлены как в двухмерном, так и в трехмерном пространстве.

Ключевые слова: конический подшипник жидкостного трения, гидродинамический подшипник (ГДП), гидростатический подшипник (ГСП), несущая способность (грузоподъемность), расход смазочного материала, потери мощности на трение и прокачку, траектории движения, программное обеспечение, MathCAD, MatLab.

Статья выполнена в рамках гранта Фуцзяньского провинциального научного фонда Китая (№ 2022J011249).

This project is supported by Fujian Provincial Natural Science Foundation, China (№ 2022J011249).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корнеев, А.Ю. Конические подшипники жидкостного трения: монография / А.Ю. Корнеев, Л.А. Савин, О.В. Соломин; под общ. ред. Л.А. Савина. – М: Машиностроение-1, 2008. – 172 с.
2. Корнеев А.Ю. Методология расчета и динамический анализ конических подшипников жидкостного трения: диссертация доктора техн. наук: 2.5.2 Машиноведение (технические науки) / Корнеев Андрей Юрьевич. – Оrel, 2021. – 368 с.
3. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2016615350. Расчет характеристик гидростатодинамических подшипников с коническими поверхностями / А. Ю. Корнеев, А. Ю. Кольцов, Л. А. Савин [и др.]. - Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 20.05.2016 г.
4. Дьяконов В. П. VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование / В. П. Дьяконов. – Москва: Солон-пресс, 2004. – 384 с.
5. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения. Полное руководство пользователя / В. П. Дьяконов. – Москва: Солон-Пресс, 2002. – 560 с.
6. Кетков Ю. Л. MATLAB 7: программирование, численные методы / Ю. Л. Кетков, А. Ю. Кетков, М. М. Шульц. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2005. – 52 с.

7. Потемкин В. Г. Система инженерных и научных расчетов MATLAB 5.X / В. Г. Потемкин. – Москва: Наука, 1995. – Т. 1. – 364 с.; Т. 2. – 303 с.
8. Майоров С. В. Параметрические колебания роторов на радиальных подшипниках жидкостного трения: дис. ... канд. техн. наук: 01.02.06 / Майоров Сергей Владимирович. – Орел, 2009. – 155 с.
9. AnPoC – Нелинейный анализ / О. В. Соломин, А. А. Морозов, С. В. Майоров // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007613460. – Зарег. в Реестре программ для ЭВМ 15.08.2007 г.
10. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. – Москва: Мир, 1976. – 392 с.
11. Корнеев А.Ю. Определение обобщенной функции зазора при перекосе ротора в конических подшипниках жидкостного трения / А.Ю. Кольцов, А.Ю. Корнеев // Известия ОрелГТУ. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2013. - № 6/302. – С. 11-15.
12. Ильин В. П. Методы неполной факторизации для решения алгебраических систем / В. П. Ильин. – Москва: Наука – Физматлит, 1995. – 288 с.
13. Кольцов А. Ю. Применение метода статистической адаптации расчетной сетки при решении уравнений математической физики методом конечных разностей / А. Ю. Кольцов // Известия ОрелГТУ. Фундаментальные проблемы техники и технологии. – 2015. - № 5-2 (313). – С. 180–186.

Корнеев Андрей Юрьевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302030, г. Орел, ул. Московская, 34
Декан факультета среднего профессионального образования,
Доктор технических наук, доцент
Тел. 8-906-662-44-22
E-mail: korneev_andrey@mail.ru

Ли Шэнбо (Li Shengbo)

Институт машиностроения и автомобилестроения
Сямыньского технологического университета
361024, г. Сямынь, КНР, округ Джимей,
ул. Лигонг, 600
Кандидат технических наук, доцент кафедры
мехатроники
Тел. +86-133-9599-49-20
E-mail: hit4057@xmut.edu.cn

Мищенко Елена Владимировна

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина»
302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69
Кандидат технических наук, доцент кафедры
техносферной безопасности
Тел. 8-953-623-22-45
E-mail: art_lena@inbox.ru

Савин Леонид Алексеевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Доктор технических наук, профессор кафедры
мехатроники, механики и робототехники
Тел. (4862) 41-98-85
E-mail: savin@ostu.ru

A.YU. KORNEEV, LI SHENGBO, E.V. MISHCHENKO, L.A. SAVIN

THE SOFTWARE INTERFACE DESCRIPTION FOR CALCULATION OF CONICAL LIQUID FRICTION BEARINGS CHARACTERISTICS

Abstract. *In paper the software interface description for calculation of the conical liquid friction bearings characteristics is considered. The feature of software is possibility of calculation different types of the conical bearings - as on the principle of creating pressure in the lubricating layer (fluid film or externally pressurized bearings), and of various geometric shapes. The MathCAD results of the characteristics calculation (load-carrying capacity, lubricant flow rate, friction and pumping power losses) are presented in a form convenient for further processing, visualization in the 3-D scans of pressure, temperature, enthalpy fields, etc. The rotors trajectories of motion are calculated in MatLab and can be represented both in two-dimensional and three-dimensional forms.*

Keywords: *conical liquid friction bearing, fluid film bearing, externally pressurized bearing, load-carrying capacity, flow rate, friction and pumping power losses, trajectories of motion, software, MathCAD, MatLab.*

BIBLIOGRAPHY

1. Korneyev, A.YU. Konicheskiye podshipniki zhidkostnogo treniya: monografiya / A.YU. Korneyev, L.A. Savin, O.V. Solomin; pod obshch. red. L.A. Savina. – M: Mashinostroyeniye-1, 2008. – 172 с.
2. Korneyev A.YU. Metodologiya rascheta i dinamicheskii analiz konicheskikh podshipnikov zhidkostnogo treniya: dissertatsiya doktora tekhn. nauk: 2.5.2 Mashinovedeniye (tekhnicheskiye nauki) / Korneyev Andrey Yuryevich. – Орел, 2021. – 368 с.
3. Svidetelstvo ob ofitsialnoy registratsii programmy dlya EVM №2016615350. Raschet kharakteristik gidrostatodinamicheskikh podshipnikov s konicheskimi poverkhnostyami / A. YU. Korneyev, A. YU. Koltsov, L. A. Savin [i dr.]. - Zaregistrovano v Reyestre programm dlya EVM 20.05.2016 g.

4. Dyakonov V. P. VisSim+Mathcad+MATLAB. Vizualnoye matematicheskoye modelirovaniye / V. P. Dyakonov. – Moskva: Solon-press, 2004. – 384 s.
5. Dyakonov V. P. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Osnovy primeneniya. Polnoye rukovodstvo polzovatelya / V. P. Dyakonov. – Moskva: Solon-Press, 2002. – 560 s.
6. Ketkov YU. L. MATLAB 7: programmirovaniye, chislennyye metody / YU. L. Ketkov, A. YU. Ketkov, M. M. Shults. – Sankt-Peterburg: BKHV-Peterburg, 2005. – 52 s.
7. Potemkin V. G. Sistema inzhenernykh i nauchnykh raschetov MATLAB 5.X / V. G. Potemkin. – Moskva: Nauka, 1995. – T. 1. - 364 s.; T. 2. – 303 s.
8. Mayorov S. V. Parametricheskiye kolebaniya rotorov na radialnykh podshipnikakh zhidkostnogo treniya: dis. ... kand. tekhn. nauk: 01.02.06 / Mayorov Sergey Vladimirovich. – Orel, 2009. – 155 s.
9. AnRoS – Nelineynyy analiz / O. V. Solomin, A. A. Morozov, S. V. Mayorov // Svidetelstvo ob ofitsialnoy registratsii programmy dlya EVM № 2007613460. – Zareg. v Reyestre programm dlya EVM 15.08.2007 g.
10. Segerlind L. Primeneniye metoda konechnykh elementov / L. Segerlind. – Moskva: Mir, 1976. – 392 s.
11. Korneyev A.YU. Opredeleniye obobshchennoy funktsii zazora pri perekose rotora v konicheskikh podshipnikakh zhidkostnogo treniya / A.YU. Koltsov, A.YU. Korneyev // Izvestiya OrelGTU. Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2013. - № 6/302. – S. 11-15.
12. Ilin V. P. Metody nepolnoy faktorizatsii dlya resheniya algebraicheskikh sistem / V. P. Ilin. – Moskva: Nauka – Fizmatlit, 1995. – 288 s.
13. Koltsov A. YU. Primeneniye metoda statisticheskoy adaptatsii raschetnoy setki pri reshenii uravneniy matematicheskoy fiziki metodom konechnykh raznostey / A. YU. Koltsov // Izvestiya OrelGTU. Fundamentalnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2015. - № 5-2 (313). – S. 180–186.

Korneev Andrey Yurievich

Orel State University named after I.S. Turgenev,
302030, Orel, Moskovskaya street, 34
Dean of faculty of mean professional education
Doctor of technical sciences, assistant professor
Tel. 8-906-662-44-22
E-mail: korneev_andrey@mail.ru

Li Shengbo

Xiamen University of Technology, School of Mechanical
and Automotive Engineering,
candidate of technical sciences, assistant professor
of department of mechatronics
361024, 600 Ligong Road, Jimei District, Xiamen, China
Tel. +86-133-9599-49-20
E-mail: hit4057@xmut.edu.cn

Mishchenko Elena Vladimirovna

Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin,
302019, Orel, Generala Rodina street, 69
Candidate of technical sciences, assistant professor
of department of technosphere safety
Tel. 8-953-623-22-45
E-mail: art_lena@inbox.ru

Savin Leonid Alekseevich

Orel State University named after I.S. Turgenev
302020, Orel, Naugorskoe highway, 29
Doctor of technical sciences, professor of department of
mechatronics, mechanics and robotics
Tel. 8-960-548-46-61
E-mail: savin@ostu.ru

© А.Ю. Корнеев, Ли Шэнбо, Е.В. Мищенко, Л.А. Савин, 2023

ПРИБОРЫ, БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 504.61:502.53

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-361-5-91-98

В.И. КАРАКЕЯН, Н.Р. ХАРЛАМОВ, А.С. РЯБЫШЕНКОВ

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ АТМОСФЕРЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЗОНЫ НАУКОЕМКОЙ ПРИРОДНО- ТЕХНИЧЕСКОЙ ГЕОСИСТЕМЫ

Аннотация. Одним из характерных признаков наукоёмкой природно-технической геосистемы (НПТГ) является высокая территориальная концентрация производств микроэлектроники, требующих уникальных прецизионных условий для своих специфических технологий, которые могут стать источниками негативных последствий для ее атмосферы. Безопасность функционирования геосистемы характеризуется такими критериями ее сбалансированности, как природоёмкость техносферы и ее экологическая техноёмкость. В работе расчетным путем на основании обширного статистического материала по валовым выбросам стационарных и передвижных источников одной из промышленных зон НПТГ установлено, что эти критерии на протяжении ряда лет при практическом круглогодичном постоянстве превышают единицу. Это свидетельствует о критическом состоянии ее атмосферы. Показана взаимосвязь принятых критериев от погодно - климатических факторов региона, свидетельствующая об их опасном для атмосферы значениях даже

при благоприятной для рассеивания примесей ветровой нагрузке. Полученные результаты необходимо учитывать при расширении масштабов производства изделий микроэлектроники, что влечет за собой необходимость критического анализа эффективности действующей системы экологического мониторинга.

Ключевые слова: наукоемкая природно-техническая геосистема, природоемкость техносферы, экологическая техноёмкость, загрязняющие вещества, валовые выбросы, атмосфера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харламов, Н. Р. Оценка количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу/ Н. Р. Харламов, А. С. Рябышенков, В. И. Каракеян, А. Д. Кирьянова, Н. М. Ларионов // Контроль. Диагностика. 2022 Т. 25, № 6. - С. 24-29.
2. Рябышенков, А. С. Обеспечение производственно-экологической безопасности предприятия микроэлектроники. / А. С. Рябышенков, В. И. Каракеян, И. М. Никулина, Н. Р. Харламов // Современные научные исследования. Сборник научных трудов по материалам Современные научные исследования. Сборник научных трудов по материалам XXVII Международной научно-практической конференции (г.к. Анапа, 16 декабря 2020 г.). [Электронный ресурс]. – Анапа: Изд-во «НИЦ ЭСП» в ЮФО, 2020. - С.115-122. ISBN 978-5-95283-474-3.
3. Исаев, С. В. Концепция природно-технических систем и ее использование при изучении антропогенной трансформации природной среды // Географический вестник. 2016. №3 (38). – С. 105–113.
4. Акимова, Т. А. Основы экоразвития / Т. А. Акимова, В. В. Хаскин: Учебное пособие. – М.: Изд-во Рос. экон. акад., 1994. – 312 с.
5. Социо-, эколого-экономическая оценка состояния территории: [монография] / [С. В. Карелов, И. С. Белик, Л. А. Бурмакина и др.]; под общ. ред. С. В. Карелова, И. С. Белик; Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина.— Екатеринбург: УрФУ, 2013.— 258 с.
6. Попова, Н. Б. Эколого-географические аспекты природопользования в Западной Сибири // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2007. №19. – С. 117–121.
7. Акимова, Т. А. Экология. Человек – Экономика – Биота – Среда: учебник для студентов вузов / Т. А. Акимова, В. В. Хаскин. – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. – 495 с. – (Серия «Золотой фонд Российских учебников»).
8. Тилекова, Ж. Т. Экологическая оценка антропогенного воздействия на экосистемы центрального Казахстана / Ж. Т. Тилекова, М. С. Тонкопий // Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – № 11–1. – С. 180-182.
9. Чмыхалова, С. В. Оценка экологической техноёмкости территории республики Башкортостан / С. В. Чмыхалова, С. С. Сибатуллин // ГИАБ. 2018. №3. – 112–119 С.
10. Завьялова, О. Г. Сравнительная оценка экологической ёмкости территории административных районов Курганской области. / О. Г. Завьялова, Е. В. Дробот // Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Курган. 09–10 декабря 2010 года VIII Зырянские чтения. – С. 190-191.
11. Попова, Н. Б. Эколого-географические аспекты природопользования в Западной Сибири // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2007. №19. – С. 117–121.
12. Портал открытых данных Правительства Москвы [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://data.mos.ru/opendata/2442>, свободный (Дата обращения 28.12.2022 г.).
13. Приказ Минприроды от 24.12.2019 г. № 811 от 28.11.2019 «Об утверждении требований к мероприятиям по уменьшению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в периоды неблагоприятных метеорологических условий» (вступил в силу 27.06.2020).
14. Каракеян, В. И. Особенности организации системы мониторинга атмосферы наукоемкой природно-технической геосистемы / В. И. Каракеян [и др.] // Экология промышленного производства. – 2014. – № 1 (85). – С. 19-22.
15. Молодцов, В. А., Гуськов, А.А. Определение выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ГГТУ», 2014. – 22 с.

Каракеян Валерий Иванович
НИУ МИЭТ,
Доктор технических наук,
профессор,
Профессор Института ПМТ
124498, г. Москва, г. Зеленоград,
пл. Шокина, дом 1
Телефон: 89162453229
E-mail: zelikar@mail.ru

Харламов Николай Романович
НИУ МИЭТ,
Аспирант 1 года обучения,
124498, г. Москва, г. Зеленоград,
пл. Шокина, дом 1
Телефон: 89773982786
E-mail:
kolya.kharlamov2017@yandex.ru

Рябышенков Андрей Сергеевич
НИУ МИЭТ,
Доктор технических наук, доцент,
Профессор Института ПМТ
124498, г. Москва, г. Зеленоград,
пл. Шокина, дом 1
Телефон: 89164045946
E-mail: ryabyshenkov@mail.ru

V.I. KARAKHEYAN, N.R. KHARLAMOV, A.S. RYABYSHENKOV

ASSESSMENT OF THE DEGREE OF ECOLOGICAL TENSION OF THE ATMOSPHERE OF THE INDUSTRIAL ZONE OF THE SCIENCE NATURAL AND TECHNICAL GEOSYSTEM

Annotation. *One of the characteristic features of a science-intensive natural and technical geosystem (NTG) is a high territorial concentration of microelectronics production, requiring unique precision conditions for their specific technologies, which can become sources of negative consequences for its atmosphere. The safety of the functioning of the geosystem is characterized by such criteria of its balance as the nature intensity of the technosphere and its ecological technology intensity. In the work, by calculation, on the basis of extensive statistical material on gross emissions from stationary and mobile sources of one of the industrial zones of the NPTG, it was found that these criteria over a number of years, with practical year-round constancy, exceed one. This indicates the critical state of its atmosphere. The relationship between the adopted criteria and the weather and climatic factors of the region is shown, indicating their dangerous values for the atmosphere, even with a favorable wind load for dispersing impurities. The results obtained must be taken into account when expanding the scale of production of microelectronic products, which entails the need for a critical analysis of the effectiveness of the current environmental monitoring system.*

Keywords: *natural and technical geosystem, technospheres natural capacity, ecological technology capacity, pollutants, gross emissions, atmosphere.*

BIBLIOGRAPHY

1. N. R. Kharlamov, A. S. Ryabyshenkov, V. I. Karakeyan, A. D. Kiryanova, and N. M. Larionov, "Estimation of the amount of pollutant emissions into the atmosphere," *Control. Diagnostics*. 2022 T. 25, No. 6. - S. 24-29.
2. Ryabyshenkov A. S., Karakeyan V. I., Nikulina I. M., Kharlamov N. R. Ensuring production and environmental safety of a microelectronics enterprise. Modern scientific research. Collection of scientific papers based on materials Modern scientific research. Collection of scientific papers based on the materials of the XXVII International Scientific and Practical Conference (Anapa, December 16, 2020). [Electronic resource]. - Anapa: Publishing house "NIC ESP" in the Southern Federal District, 2020. - P.115-122. ISBN 978-5-95283-474-3.
3. Isaev, S. V. The concept of natural-technical systems and its use in the study of anthropogenic transformation of the natural environment // *Geographical Bulletin*. 2016. No.3 (38). – P. 105-113.
4. Akimova, T. A. Fundamentals of eco–development / V. V. Haskin: Textbook. - M.: Publishing House of Russian Economy. akad., 1994. – 312 p.
5. Socio-, ecological and economic assessment of the state of the territory: [monograph] / [S. V. Karelov, I. S. Belik, L. A. Burmakina, etc.]; under the general editorship of S. V. Karelov, I. S. Belik; Ural. feder. University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin — Yekaterinburg: UrFU, 2013.— 258 p.
6. Popova, N. B. Ecological and geographical aspects of nature management in Western Siberia // *Bulletin of the Siberian State University of Railways*. 2007. No.19. – P. 117-121.
7. Akimova, T. A. Ecology. Man – Economy – Biota – Environment: textbook for university students / T. A. Akimova, V. V. Haskin. – 3rd ed., reprint. And additional – M.: UNITY-DANA, 2012. – 495 p. – (Series "Golden Fund of Russian textbooks").
8. Tilekova Z. T., Tonkopyiy M. S. Ecological assessment of anthropogenic impact on ecosystems of central Kazakhstan // *International Journal of Experimental Education*. – 2013. – No. 11-1. – P. 180-182.
9. Chmyhalova, S. V. Assessment of the ecological technology intensity of the territory of the Republic of Bashkortostan / S. S. Sibagatullina // *GIAB*. 2018. No. 3. – P. 112-119.
10. Zavyalova, O. G. Comparative assessment of the ecological capacity of the territory of the administrative districts of the Kurgan region. / E. V. Drobot // *Materials of the All-Russian Scientific and practical Conference. The mound*. December 09-10, 2010, VIII Zyryanovskie readings. – P. 190-191.
11. Popova, N. B. Ecological and geographical aspects of nature management in Western Siberia // *Bulletin of the Siberian State University of Railways*. 2007. No. 19. – P. 117-121.
12. Open data portal of the Government of Moscow [electronic resource]. – Access mode: <https://data.mos.ru/opendata/2442>, free accessed (data of application: 28.12.2022).
13. Order of the Ministry of Natural Resources of 24.12.2019 No. 811 of 28.11.2019 «On approval of requirements for measures to reduce emissions of pollutants into the atmospheric air during periods of adverse meteorological conditions» (entered into force on 27.06.2020).
14. Karakeyan, V.I. Features of the organization of the atmospheric monitoring system of a high-tech natural-technical geosystem / V.I. Karakeyan [et al.] // *Ecology of industrial production*. - 2014. - No. 1 (85). - S. 19-22.
15. Molodtsov, V. A., Guskov A.A. Determination of emissions of pollutants from motor transport – Tambov: Publishing House of FSBOU VPO "TSTU", 2014. – 22 p.

Karakeyan Valery Ivanovich
MIET,
Doctor of Technical Sciences,
Professor,
Professor of the Institute of PMT
124498, Moscow, Zelenograd,
Shokin square, house 1
Phone: 89162453229
E-mail: zelikar@mail.ru

Kharlamov Nikolay Romanovich
MIET,
Postgraduate student of 1 year of
study,
124498, Moscow, Zelenograd,
Shokin square, house 1
Phone: 89773982786
E-mail:
kolya.kharlamov2017@yandex.ru

Riabyshenkov Andrey Sergeevich
MIET,
Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor,
Professor of the Institute of PMT
124498, Moscow, Zelenograd,
Shokin square, house 1
Phone: 89164045946
E-mail: ryabyshenkov@mail.ru

А.О. НОСОВА, А.Е. ВАРФОЛОМЕЕВА, М.В. УСПЕНСКАЯ, Р.О. ОЛЕХНОВИЧ

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПВХ-МИКРОПЛАСТИКА В ПОЧВЕ**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. He, D. Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks / He, D., Luo, Y., Lu, S., Liu, M., Song, Y., & Lei, L. // *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2018. № 109. С. 163–172.
2. Horton A. A. Microplastics in freshwater and terrestrial environments: evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities / Horton A. A., Walton, A., Spurgeon, D. J., Lahive, E., & Svendsen, C. // *Science of the total environment*. 2017. №586. С. 127–141.
3. Shen, H. Effect of PVC microplastics on soil microbial community and nitrogen availability under laboratory-controlled and field-relevant temperatures / Shen, H., Sun, Y., Duan, H., Ye, J., Zhou, A., Meng, H., Zhu, F., He, H., Gu, C. // *Applied Soil Ecology*. 2023. №184, 104794.
4. Ellili-Bargaoui, Y. Assessment of six soil ecosystem services by coupling simulation modelling and field measurement of soil properties / Ellili-Bargaoui, Y., Walter, C., Lemercier, B., Michot, D. // *Ecol Indic*. 2021. №121, 107211.
5. Juliano Calil. Neglected: Environmental Justice Impacts of Marine Litter and Plastic Pollution / Juliano Calil, Marce Gutiérrez-Graudiņš, Steffanie Munguía, Christopher Chin, 2021, Nairobi. С. 30.
6. Klempová, S. Analysis of thermally and UV-Vis aged plasticized PVC using UV-Vis, ATR-FTIR and Raman spectroscopy / Klempová, S., Oravec, M., Vizárová, K. // *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*. 2023. №294, 122541.
7. Fischer, I. Poly(Vinyl Chloride) / Fischer, I., Schmitt, W.F., Porth, H.-C., Allsopp, M.W., Vianello, G. // *Ullmanns Encyclopedia of Industrial Chemistry*. John Wiley & Sons, Ltd, C. 1–30.
8. Mijangos, C. Poly(vinyl chloride), a historical polymer still evolving / Mijangos, C., Calafel, I., Santamaría, A. // *Polymer (Guildf)*. 2023. №266, 125610.
9. Ahmad, T. Preparation of polyvinyl chloride (PVC) membrane blended with acrylamide grafted bentonite for oily water treatment / Ahmad, T., Liu, X., Guria, C. // *Chemosphere*. 2023. №310, 136840.
10. Abreu, C.M.R. Convenient and industrially viable internal plasticization of poly(vinyl chloride): copolymerization of vinyl chloride and commercial monomers / Abreu, C.M.R., Rezende, T.C., Serra, A.C., Fonseca, A.C., Braslau, R., Coelho, J.F.J // *Polymer (Guildf)*. 2023. №267, 125688.
11. Li, W. Comparative study on pyrolysis behaviors and chlorine release of pure PVC polymer and commercial PVC plastics / Li, W., Bai, Z., Zhang, T., Jia, Y., Hou, Y., Chen, J., Guo, Z., Kong, L., Bai, J., Li, Wen // *Fuel*. №340, 127555.
12. Gavim, A. E. X. Identifying the manufacturing process of PVC films by nondestructive morphological analyses / Gavim, A. E. X., de Oliveira Mascarenhas, R., Sbrissia, L. S., Júnior, J. V. B., Casagrande, T. R., & Macedo, A. G. // *Materials Letters*, №338, 134065.
13. Miliute-Plepiene, J. Overview of polyvinyl chloride (PVC) waste management practices in the Nordic countries / Miliute-Plepiene, J., Frâne, A., Almasi, A.M. // *Clean Eng Technol*. №4, 100246. DOI: 10.1016/J.CLET.2021.100246.
14. Van den Berg, P. Sewage sludge application as a vehicle for microplastics in eastern Spanish agricultural soils / Van den Berg, P., Huerta-Lwanga, E., Corradini, F., Geissen, V. // *Environmental Pollution*. 2020. №261, 114198.
15. Fuller, S. A Procedure for Measuring Microplastics using Pressurized Fluid Extraction / Fuller, S., Gautam, A. // *Environ Sci Technol*. 2016. №50. С. 5774–5780.
16. Proshad, R. Toxic effects of plastic on human health and environment: A consequences of health risk assessment in Bangladesh / Proshad, R., Kormoker, T., Islam, M. S., Haque, M. A., Rahman, M. M., & Mithu, M. M. R. // *International Journal of Health*, 2018, №6(1). С. 1-5.
17. Maleki Rad. Biodegradation of thermo-oxidative pretreated low-density polyethylene (LDPE) and polyvinyl chloride (PVC) microplastics by *Achromobacter denitrificans* Ebl13 / Maleki Rad, M., Moghimi, H., Azin, E. *Mar Pollut Bull*. 2022. №181, 113830.
18. Wang, Y. Neurotoxicity of bisphenol A exposure on *Caenorhabditis elegans* induced by disturbance of neurotransmitter and oxidative damage / Wang, Y., Gai, T., Zhang, L., Chen, L., Wang, S., Ye, T., Zhang, W. // *Ecotoxicol Environ Saf*. 2023. №252, 114617.
19. Fan, P. Effects of different concentrations and types of microplastics on bacteria and fungi in alkaline soil / Fan, P., Tan, W., Yu, H. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2022. №229, 113045. DOI: 10.1016/J.ECOENV.2021.113045.
20. Li, J. Effects of biochar on the phytotoxicity of polyvinyl chloride microplastics / Li, J., Yu, Y., Chen, X., Yu, S., Cui, M., Wang, S., Song, F. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2023. №195. С. 228–237.

21. Stellman, J. M. (Ed.). Encyclopaedia of occupational health and safety / Stellman, J. M. // International Labour Organization. 1998. Т. 1.
22. Okoffo, E. D. Plastic particles in soil: state of the knowledge on sources, occurrence and distribution, analytical methods and ecological impacts / Okoffo, E. D., O'Brien, S., Ribeiro, F., Burrows, S. D., Toapanta, T., Rauert, C.,... & Thomas, K. V. // Environmental Science: Processes & Impacts. 2021. №23(2), С. 240–274.
23. Gohla, J. Potassium Carbonate (K_2CO_3)—A cheap, non-toxic and high-density floating solution for microplastic isolation from beach sediments / Gohla, J., Bračun, S., Gretschel, G., Koblmüller, S., Wagner, M., & Pacher, C. // Marine Pollution Bulletin. 2021. №170, 112618.
24. Poly(vinyl chloride). CAS Common Chemistry [Электронный ресурс]. URL: https://commonchemistry.cas.org/detail?cas_rn=9002-86-2 (дата обращения: 03.03.2023).
25. Овсепян, Л. А. Изменение денситометрического фракционного состава органического вещества почв лесостепной зоны в процессе постагрогенной эволюции / Овсепян, Л. А., Курганова, И. Н., Русаков, А. В., & Кузяков, Я. В. Почвоведение. 2020. №1. С. 56–68.
26. Al-Azzawi, M.S.M. Validation of Sample Preparation Methods for Microplastic Analysis in Wastewater Matrices—Reproducibility and Standardization / Al-Azzawi, M.S.M., Kefer, S., Weißer, J., Reichel, J., Schwaller, C., Glas, K., Knoop, O., Drewes, J.E. // Water (Basel). 2020. №12.
27. Wu, M. Microplastics in waters and soils: Occurrence, analytical methods and ecotoxicological effects / Wu, M., Yang, C., Du, C., Liu, H. // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2020. №. 202, 110910.
28. Sorolla-Rosario, D. Study of microplastics with semicrystalline and amorphous structure identification by TGA and DSC / Sorolla-Rosario, D., Llorca-Porcel, J., Pérez-Martínez, M., Lozano-Castelló, D., Bueno-López, A. // J Environ Chem Eng. 2022. №10, 106886.
29. Ortiz, D. Insights into the degradation of microplastics by Fenton oxidation: From surface modification to mineralization / Ortiz, D., Munoz, M., Nieto-Sandoval, J., Romera-Castillo, C., de Pedro, Z. M., & Casas, J. A. // Chemosphere. №309, 136809.
30. Тарер А.А. Физико-химия полимеров. Издание 4-е, переработанное и дополненное. - М.: Научный мир, 2007. – 576 с.
31. Структурная химия углерода и углей [Текст]: [Сборник статей] / [Отв. ред. д-р хим. наук проф. В. И. Касаточкин]. - Москва: Наука, 1969. - 306 с.
32. Быстров Г. А. Обезвреживание и утилизация отходов в производстве пластмасс / Быстров Г. А., Гальперин В. М., Титов Б. П. //Химия. – 1982. – С. 178-214.
33. Cruz, P. P. R. Thermal dehydrochlorination of pure PVC polymer: Part I—thermal degradation kinetics by thermogravimetric analysis / Cruz, P. P. R., da Silva, L. C., Fiuza-Jr, R. A., & Polli, H. // Journal of Applied Polymer Science. №138(25), 50598.
34. Yu, J. Thermal degradation of PVC: A review / Yu, J., Sun, L., Ma, C., Qiao, Y., & Yao, H. // Waste management. 2016. №48. С. 300-314.
35. Bitter H. Fast and easy quantification of semi-crystalline microplastics in exemplary environmental matrices by differential scanning calorimetry (DSC) / Bitter H., Lackner S. // Chemical Engineering Journal. 2021. №423, 129941.
36. Верховец И. А. Деградационные изменения темно-серых лесных почв Агробиостанции Орловского государственного университета / Верховец И. А., Тучкова Л. Е., Чувашева Е. С. // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки. 2014. №. 6. С. 61-64.

Носова Анастасия Олеговна

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», г. Санкт-Петербург
Аспирант центра химической инженерии
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49,
лит. А
aonosova@itmo.ru

Успенская Майя Валерьевна

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», г. Санкт-Петербург
Д.т.н., профессор, директор центра химической инженерии
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49,
лит. А

Варфоломеева Алена Евгеньевна

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», г. Санкт-Петербург
Студент центра химической инженерии
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49,
лит. А

Олехнович Роман Олегович

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», г. Санкт-Петербург
К.т.н., доцент факультета систем управления и робототехники
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49,
лит. А

A.O. NOSOVA, A.E. VARFOLOMEEVA, M.V. USPENSKAYA, R.O. OLEKHNOVICH

**THE POSSIBILITIES OF APPLYING THERMAL ANALYSIS METHODS
TO DETECT PVC MICROPLASTICS IN SOIL**

Abstract. *The possibility of detecting PVC microplastics in the model soil samples without sample preparation and with sample preparation by DSC and TGA methods, as well as the effect of the oxidative process used in sample preparation on PVC, was studied. The IR spectra of oxidized PVC does not differ significantly from the PVC spectra. The glass transition temperature also remains practically unchanged, and this circumstance makes it possible to detect PVC on the DSC curve at a concentration of 0.1% or more in a soil sample during sample preparation, including the stages of H₂O₂ oxidation in the presence of a Fe²⁺ catalyst and separation using a binary solution of NaCl and Ca(NO₃)₂. To identify two stages of thermal decomposition of PVC at a concentration of 0.1% or more in a soil sample by the TGA method, it is necessary to pre-oxidize the sample.*

Keywords: *microplastics, soil, PVC, thermal methods of analysis, thermogravimetric analysis, differential scanning calorimetry.*

BIBLIOGRAPHY

1. He, D. Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks / He, D., Luo, Y., Lu, S., Liu, M., Song, Y., & Lei, L. // *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2018. № 109, p. 163–172.
2. Horton A. A. Microplastics in freshwater and terrestrial environments: evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities / Horton A. A., Walton, A., Spurgeon, D. J., Lahive, E., & Svendsen, C. // *Science of the total environment*. 2017. №586. p. 127–141.
3. Shen, H. Effect of PVC microplastics on soil microbial community and nitrogen availability under laboratory-controlled and field-relevant temperatures / Shen, H., Sun, Y., Duan, H., Ye, J., Zhou, A., Meng, H., Zhu, F., He, H., Gu, C. // *Applied Soil Ecology*. 2023. №184, 104794.
4. Ellili-Bargaoui, Y. Assessment of six soil ecosystem services by coupling simulation modelling and field measurement of soil properties / Ellili-Bargaoui, Y., Walter, C., Lemerrier, B., Michot, D. // *Ecol Indic*. 2021. №121, 107211.
5. Juliano Calil. Neglected: Environmental Justice Impacts of Marine Litter and Plastic Pollution / Juliano Calil, Marce Gutiérrez-Graudiņš, Steffanie Munguía, Christopher Chin, 2021, Nairobi. p. 30.
6. Klempová, S. Analysis of thermally and UV–Vis aged plasticized PVC using UV–Vis, ATR-FTIR and Raman spectroscopy / Klempová, S., Oravec, M., Vizárová, K. // *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*. 2023. №294, 122541.
7. Fischer, I. Poly(Vinyl Chloride) / Fischer, I., Schmitt, W.F., Porth, H.-C., Allsopp, M.W., Vianello, G. // *Ullmanns Encyclopedia of Industrial Chemistry*. John Wiley & Sons, Ltd, p. 1–30.
8. Mijangos, C. Poly(vinyl chloride), a historical polymer still evolving / Mijangos, C., Calafel, I., Santamaría, A. // *Polymer (Guildf)*. 2023. №266, 125610. DOI: 10.1016/J.POLYMER.2022.125610.
9. Ahmad, T. Preparation of polyvinyl chloride (PVC) membrane blended with acrylamide grafted bentonite for oily water treatment / Ahmad, T., Liu, X., Guria, C. // *Chemosphere*. 2023. №310, 136840.
10. Abreu, C.M.R. Convenient and industrially viable internal plasticization of poly(vinyl chloride): copolymerization of vinyl chloride and commercial monomers / Abreu, C.M.R., Rezende, T.C., Serra, A.C., Fonseca, A.C., Braslau, R., Coelho, J.F.J // *Polymer (Guildf)*. 2023. №267, 125688.
11. Li, W. Comparative study on pyrolysis behaviors and chlorine release of pure PVC polymer and commercial PVC plastics / Li, W., Bai, Z., Zhang, T., Jia, Y., Hou, Y., Chen, J., Guo, Z., Kong, L., Bai, J., Li, Wen // *Fuel*. №340, 127555.
12. Gavim, A. E. X. Identifying the manufacturing process of PVC films by nondestructive morphological analyses / Gavim, A. E. X., de Oliveira Mascarenhas, R., Sbrissia, L. S., Júnior, J. V. B., Casagrande, T. R., & Macedo, A. G. // *Materials Letters*, №338, 134065.
13. Miliute-Plepiene, J. Overview of polyvinyl chloride (PVC) waste management practices in the Nordic countries / Miliute-Plepiene, J., Frâne, A., Almasi, A.M. // *Clean Eng Technol*. №4, 100246.
14. Van den Berg, P. Sewage sludge application as a vehicle for microplastics in eastern Spanish agricultural soils / Van den Berg, P., Huerta-Lwanga, E., Corradini, F., Geissen, V. // *Environmental Pollution*. 2020. №261, 114198.
15. Fuller, S. A Procedure for Measuring Microplastics using Pressurized Fluid Extraction / Fuller, S., Gautam, A. // *Environ Sci Technol*. 2016. №50. p. 5774–5780.
16. Proshad, R. Toxic effects of plastic on human health and environment: A consequences of health risk assessment in Bangladesh / Proshad, R., Kormoker, T., Islam, M. S., Haque, M. A., Rahman, M. M., & Mithu, M. M. R. // *International Journal of Health*, 2018, №6(1). p. 1-5.
17. Maleki Rad. Biodegradation of thermo-oxidative pretreated low-density polyethylene (LDPE) and polyvinyl chloride (PVC) microplastics by *Achromobacter denitrificans* Ebl13 / Maleki Rad, M., Moghimi, H., Azin, E. *Mar Pollut Bull*. 2022. №181, 113830.
18. Wang, Y. Neurotoxicity of bisphenol A exposure on *Caenorhabditis elegans* induced by disturbance of neurotransmitter and oxidative damage / Wang, Y., Gai, T., Zhang, L., Chen, L., Wang, S., Ye, T., Zhang, W. // *Ecotoxicol Environ Saf*. 2023. №252, 114617.
19. Fan, P. Effects of different concentrations and types of microplastics on bacteria and fungi in alkaline soil / Fan, P., Tan, W., Yu, H. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2022. №229, 113045.

20. Li, J. Effects of biochar on the phytotoxicity of polyvinyl chloride microplastics / Li, J., Yu, Y., Chen, X., Yu, S., Cui, M., Wang, S., Song, F. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2023. №195. p. 228–237.
21. Stellman, J. M. (Ed.). *Encyclopaedia of occupational health and safety* / Stellman, J. M. // International Labour Organization. 1998. T. 1.
22. Okoffo, E. D. Plastic particles in soil: state of the knowledge on sources, occurrence and distribution, analytical methods and ecological impacts / Okoffo, E. D., O'Brien, S., Ribeiro, F., Burrows, S. D., Toapanta, T., Rauert, C.,... & Thomas, K. V. // *Environmental Science: Processes & Impacts*. 2021. №23(2), p. 240–274.
23. Gohla, J. Potassium Carbonate (K₂CO₃)—A cheap, non-toxic and high-density floating solution for microplastic isolation from beach sediments / Gohla, J., Bračun, S., Gretschel, G., Koblmüller, S., Wagner, M., & Pacher, C. // *Marine Pollution Bulletin*. 2021. №170, 112618.
24. Poly(vinyl chloride). CAS Common Chemistry [Электронный ресурс]. URL: https://commonchemistry.cas.org/detail?cas_rn=9002-86-2 (date of the application: 03.03.2023).
25. Ovsepyan, L. A. Izmenenie densitometricheskogo frakcionnogo sostava organicheskogo veshchestva pochv lesostepnoj zony v processe postagrogennoj evolyucii / Ovsepyan, L. A., Kurganova, I. N., Rusakov, A. V., & Kuzyakov, YA. V. *Pochvovedenie*. 2020. №1. S. 56–68.
26. Al-Azzawi, M.S.M. Validation of Sample Preparation Methods for Microplastic Analysis in Wastewater Matrices—Reproducibility and Standardization / Al-Azzawi, M.S.M., Kefer, S., Weißer, J., Reichel, J., Schwaller, C., Glas, K., Knoop, O., Drewes, J.E. // *Water (Basel)*. 2020. №12.
27. Wu, M. Microplastics in waters and soils: Occurrence, analytical methods and ecotoxicological effects / Wu, M., Yang, C., Du, C., Liu, H. // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2020. №. 202. – p. 110910.
28. Sorolla-Rosario, D. Study of microplastics with semicrystalline and amorphous structure identification by TGA and DSC / Sorolla-Rosario, D., Llorca-Porcel, J., Pérez-Martínez, M., Lozano-Castelló, D., Bueno-López, A. // *J Environ Chem Eng*. 2022. №10, 106886.
29. Ortiz, D. Insights into the degradation of microplastics by Fenton oxidation: From surface modification to mineralization / Ortiz, D., Munoz, M., Nieto-Sandoval, J., Romera-Castillo, C., de Pedro, Z. M., & Casas, J. A. // *Chemosphere*. №309, 136809.
30. Tager A.A. *Fiziko-himiya polimerov. Izdanie 4-e, pererabotannoe i dopolnennoe*. - M.: Nauchnyj mir, 2007. – 576 s.
31. *Strukturnaya himiya ugleroda i uglej [Tekst]: [Sbornik statej] / [Otv. red. d-r him. nauk prof. V. I. Kasatochkin]*. - Moskva: Nauka, 1969. - 306 s.
32. Bystrov G. A. Obezvrezhivanie i utilizaciya othodov v proizvodstve plastmass / Bystrov G. A., Galperin V. M., Titov B. P. // *Himiya*. 1982. S. 178-214.
33. Cruz, P. P. R. Thermal dehydrochlorination of pure PVC polymer: Part I—thermal degradation kinetics by thermogravimetric analysis / Cruz, P. P. R., da Silva, L. C., Fiuza-Jr, R. A., & Polli, H. // *Journal of Applied Polymer Science*. №138(25), 50598.
34. Yu, J. Thermal degradation of PVC: A review / Yu, J., Sun, L., Ma, C., Qiao, Y., & Yao, H. // *Waste management*. №48. p. 300-314.
35. Bitter H. Fast and easy quantification of semi-crystalline microplastics in exemplary environmental matrices by differential scanning calorimetry (DSC) / Bitter H., Lackner S. // *Chemical Engineering Journal*. 2021. №423, 129941.
36. Verhovec I. A. Degradacionnye izmeneniya temno-seryh lesnyh pochv Agrobiostancii Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta / Verhovec I. A., Tuchkova L. E., CHuvashva E. S. // *Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye, tekhnicheskie i medicinskie nauki*. 2014. №. 6. S. 61-64.

Nosova Anastasiia Olegovna

ITMO University
Postgraduate student of the Chemical Engineering Center
197101, St. Petersburg, Kronverksky pr., 49, lit. A.
aonosova@itmo.ru

Uspenskaya Mayya Valerievna

ITMO University
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the
Chemical Engineering Center
197101, St. Petersburg, Kronverksky pr., 49, lit. A.
mv_ustpenskaya@itmo.ru

Varfolomeeva Alena Evgenievna

ITMO University
Student of the Chemical Engineering Center
197101, St. Petersburg, Kronverksky pr., 49, lit. A.
ally.vrf@gmail.com

Olekhovich Roman Olegovich

ITMO University
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of
the Faculty of Control Systems and Robotics
197101, St. Petersburg, Kronverksky pr., 49, lit. A.
r.o.olekhovich@itmo.ru

С.О. ПЕНЗЕВА, Л.А. БОНДАРЕВА, М.В. СУХАНОВА

ВЫБОР ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ РАСТЕНИЯ

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментального исследования влияния возрастных изменений листьев растений на их оптические характеристики. Математическая обработка полученных данных показала различия в оптических свойствах листовых пластин, что проявилось при измерении коэффициентов зеркального и диффузного отражения.

Сформулированы рекомендации по выбору объекта исследования оптическим методом с целью получения более достоверных результатов.

Ключевые слова: функциональное состояние растения, смешанное отражение, зеркальная составляющая, диффузная составляющая, листья растений, влагообеспеченность

Пензева Светлана Олеговна
ФГБОУ ВО «Орловский
государственный университет
имени Тургенева», г. Орел
Магистрант второго курса
направления подготовки
«Биотехнические системы и
технологии»
302020, г. Орел, Наугорское
шоссе, 29
Телефон: +7-920-828-15-66.
E-mail: svetitjma@yandex.ru

Бондарева Людмила Александровна
ФГБОУ ВО «Орловский
государственный университет имени
Тургенева», г. Орел
Кандидат технических наук, доцент
кафедры приборостроения,
метрологии и сертификации
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Телефон: +7 (4862) 41-98-76.
E-mail: 270174@mail.ru

Суханова Марина Владимировна
ФГБОУ ВО «Орловский
государственный университет имени
И.С. Тургенева», г. Орел
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Телефон: +7-911-385-78-18.
Suhanova.M.V@yandex.ru

S.O. PENZEVA, L.A. BONDAREVA, M.V. SUKHANOVA

SELECTION OF THE OBJECT OF STUDY TO ASSESS THE MOISTURE CONTENT SUPPLY OF THE PLANT

Abstract. The article presents the results of an experimental study of the influence of age-related changes in plant leaves on their optical characteristics. Mathematical processing of the obtained data showed differences in the optical properties of deciduous plates, which was manifested in measuring mirror and diffuse reflection coefficients. Recommendations have been formulated on the choice of the object of study by the optical method in order to obtain more reliable results.

Keywords: functional state of the plant, mixed reflection, mirror component, diffuse component, plant leaves, moisture content

BIBLIOGRAPHY

1. Bondareva L.A., Utkina V.V. Funkcionalnaya diagnostika rastenij s ispolzovaniem otrazhennoj ot listev moshchnosti izlucheniya // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – № 2 (304). – 2014. – S. 144-151.
2. Patent № 2719788 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK A01G 7/04, G01N 21/17. Sposob ocenki funkcionalnogo sostoyaniya rastenij dlya opredeleniya ih potrebnostej v vode: № 2019115574: zayavl. 21.05.2019; opubl. 23.04.2020 / L.A. Bondareva, M.V. Suhanova; zayavitel FGBOU VO "OGU im. I.S. Turgeneva". – EDN RIJOOC.
3. Merzlyak M.N., Gitelson A.A., Pogosyan S.I. i dr. Spektry otrazheniya listev i plodov pri normalnom razvitii, starenii i stresse // Fiziologiya rastenij. 1997. – Т. 44/ 5. – S. 707-716.
4. Bome N.A., K.P. Korolyov, Tetyannikov N.V., Bome A.YA. Sovremennye tekhnologii izucheniya i sohraneniya geneticheskikh resursov. CHast II. Polevye metody issledovaniya kulturnyh rastenij: uchebno-metodicheskoe posobie. Tyumen: Izdatelstvo Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta, 2018. – 46 s.
5. A 3-D functional–structural grapevine model that couples the dynamics of water transport with leaf gas exchange // J. Zhu, Z. Dai, P. Vivin, G. Gambetta, M. Henke, A. Peccoux, N. Ollat, S. Delrot. – Annals of Botany, Volume 121, Issue 5, 18 April 2018, Pages 833-848.

Penzeva Svetlana Olegovna
Oryol State University named after
I.S. Turgenev, Oryol
Undergraduate of the Department
Instrumentation, metrology and
certification
302020, Orel, Naugorskoe Shosse,
29
Phone: +7-920-828-15-66.
E-mail: svetitjma@yandex.ru

Bondareva Lyudmila Alexandrovna
Oryol State University named after I.S.
Turgenev, Oryol
PhD. (Tech. Sciences), Associate
Professor of the Department
Instrumentation, metrology and
certification,
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Phone: +7 (4862) 41-98-76.
E-mail: 270174@mail.ru

Sukhanova Marina Vladimirovna
Oryol State University named after
I.S. Turgenev, Oryol
302020, Orel, Naugorskoe Shosse,
29
Phone: +7-911-385-78-18.
E-mail: Suhanova.M.V@yandex.ru

© С.О. Пензева, Л.А. Бондарева, М.В. Суханова, 2023

УДК 535.341+ 535.361+611.36

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-361-5-117-126

К.Ю. КАНДУРОВА

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕЧЕНИ И ЖЕЛЧИ В ДИАПАЗОНЕ 350-1300 НМ

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментального и аналитического определения оптических характеристик печени и её продукта жизнедеятельности – желчи, для задач дальнейшего моделирования взаимодействия света с паренхимой в норме и при структурно-функциональных изменениях вследствие механической желтухи и других патологий. Для измерения оптических характеристик печени без вклада гемоглобина, был разработан и протестирован протокол подготовки печени крысы путем перфузирования раствором Хэнкса с кальцием для снижения содержания крови в сосудах. Проведены спектрофотометрические измерения диффузного отражения, полного и коллимированного пропускания в срезах печени и образцов желчи человека с дальнейшим вычислением коэффициентов поглощения и рассеяния, а также фактора анизотропии методом обратного добавления-удвоения. Отмечена эффективность процедуры перфузирования для определения истинных оптических характеристик печени путем уменьшения влияния крови на измеренные спектры пропускания и отражения. Проведено сравнение экспериментальных данных с расчетными значениями коэффициента поглощения печени с учетом вклада основных хромофоров. Представленные результаты лягут в основу дальнейшей разработки технологии и критериев для оценки функционального состояния печени для своевременного определения степени и прогноза печеночной недостаточности.

Ключевые слова: печень, желчь, оптические характеристики, спектрофотометрия.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 23-25-00487, <https://rscf.ru/en/project/23-25-00487>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pavlidis, E.T. Pathophysiological consequences of obstructive jaundice and perioperative management / E.T. Pavlidis, T.E. Pavlidis // *Hepatobiliary Pancreat. Dis. Int.* – 2018. – 17(1). – P. 17-21.
2. Lukmonov, S. Minimally invasive biliary decompression methods in management of obstructive jaundice of malignant etiology / S. Lukmonov // *HPB.* – 2018. – 20. – P. S730.
3. Croce, A.C. Autofluorescence spectroscopy and imaging: A tool for biomedical research and diagnosis / A.C. Croce, G. Bottioli // *Eur. J. Histochem.* – 2014. – 58(4). – P. 320-337.
4. Dunaev, A.V. Individual variability analysis of fluorescence parameters measured in skin with different levels of nutritive blood flow / A.V. Dunaev, V.V. Dremin, E.A. Zherebtsov, I.E. Rafailov, K.S. Litvinova, S.G. Palmer, N.A. Stewart, S.G. Sokolovski, E.U. Rafailov // *Med. Eng. Phys.* – *Med. Eng. Phys.* – 37(6). – P. 574-583.
5. Жеребцов, Е.А. Флуоресцентная диагностика митохондриальной функции в эпителиальных тканях in vivo: монография / Е.А. Жеребцов, В.В. Дрёмин, А.И. Жеребцова, Е.В. Потапова, А.В. Дунаев. – Орёл: ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», 2018. – 107 с.
6. Дунаев, А.В. Мультимодальная оптическая диагностика микроциркуляторно-тканевых систем организма человека: монография / А.В. Дунаев. – Старый Оскол: ТНТ, 2022. – 440 с.
7. Kim, J.A. Optical spectroscopy for in vivo medical diagnosis—a review of the state of the art and future perspectives / J.A. Kim, D.J. Wales, G.-Z. Yang // *Prog. Biomed. Eng.* – 2020. – 2(4). – P. 42001.
8. Shrirao, A.B. Autofluorescence of blood and its application in biomedical and clinical research / A.B. Shrirao, R.S. Schloss, Z. Fritz, M.V. Shrirao, R. Rosen, M.L. Yarmush // *Biotechnol. Bioeng.* – 2021. – 118(12). – P. 4550-4576.

9. He, Z. Novel endoscopic optical diagnostic technologies in medical trial research: recent advancements and future prospects / Z. He, P. Wang, X. Ye // *Biomed. Eng. Online.* – 2021. – 20(1). – P. 1-38.
10. Dremin, V. Optical percutaneous needle biopsy of the liver: a pilot animal and clinical study / V. Dremin, E. Potapova, E. Zherebtsov, K. Kandurova, V. Shupletsov, A. Alekseyev, A. Mamoshin, A. Dunaev // *Sci. Rep.* – 2020. – 10(1). – P. 14200.
11. Zherebtsov, E.A. Fluorescence lifetime needle optical biopsy discriminates hepatocellular carcinoma / E.A. Zherebtsov, E.V. Potapova, A.V. Mamoshin, V.V. Shupletsov, K.Y. Kandurova, V.V. Dremin, A.Y. Abramov, A.V. Dunaev // *Biomed. Opt. Express.* – 2022. – 13(2). – P. 633-646.
12. Alfano, R. Optical biopsy for cancer detection / R. Alfano, Y. Pu // *Lasers for Medical Applications.* – Woodhead Publishing, 2013. – P. 325-367.
13. Spliethoff, J.W. In vivo characterization of colorectal metastases in human liver using diffuse reflectance spectroscopy: Toward guidance in oncological procedures / J.W. Spliethoff, L.L. de Boer, M.A. Meier, W. Prevoo, J. de Jong, K. Kuhlmann, T.M. Bydlon, H.J. Sterenborg, B.H. Hendriks, T.J. Ruers // *J. Biomed. Opt.* – 2016. – 21(9). – P. 97004.
14. Braun, F. A customized multispectral needle probe combined with a virtual photometric setup for in vivo detection of Lewis lung carcinoma in an animal model / F. Braun, R. Schalk, M. Nachtmann, A. Hien, R. Frank, T. Beuermann, F.-J. Methner, B. Kränzlin, M. Rädle, N. Gretz // *Meas. Sci. Technol.* – 2019. – 30(10). – P. 104001.
15. Kandurova, K. Fiber-optic system for intraoperative study of abdominal organs during minimally invasive surgical interventions / K. Kandurova, V. Dremin, E. Zherebtsov, E. Potapova, A. Alyanov, A. Mamoshin, Y. Ivanov, A. Borsukov, A. Dunaev // *Appl. Sci.* – 2019. – 9(2). – P. 217.
16. Zherebtsov, E. Machine Learning Aided Photonic Diagnostic System for Minimally Invasive Optically Guided Surgery in the Hepatoduodenal Area / E. Zherebtsov, M. Zajnulina, K. Kandurova, E. Potapova, V. Dremin, A. Mamoshin, S. Sokolovski, A. Dunaev, E.U. Rafailov // *Diagnostics.* – 2020. – 10(11). – P. 873.
17. Jacques, S.L. Optical properties of biological tissues: a review / S.L. Jacques // *Phys. Med. Biol.* – 2013. – 58(11). – P. R37-61.
18. Bashkatov, A.N. Optical properties of skin, subcutaneous, and muscle tissues: a review // A.N. Bashkatov, E.A. Genina, V.V. Tuchin // *J. Innov. Opt. Health Sci.* – 2011. – 4(01). – P. 9-38.
19. Lister, T. Optical properties of human skin / T. Lister, P.A. Wright, P.H. Chappell // *J. Biomed. Opt.* – 2012. – 17(9). – P. 090901.
20. Carneiro, I. Measuring optical properties of human liver between 400 and 1000 nm / I. Carneiro, S. Carvalho, R. Henrique, L. Oliveira, V.V. Tuchin // *Quantum Electron.* – 2019. – 49(1). – P. 13-19.
21. Bosschaart, G.J. Edelman, M.C.G. Aalders, T.G. van Leeuwen, D.J. Faber // *Lasers Med. Sci.* – 2014. – 29(2). – P. 453-479.
22. Shanshool, A.S. Optical Properties and Fluence Distribution in Rabbit Head Tissues at Selected Laser Wavelengths / A.S. Shanshool, E.N. Lazareva, O. Hamdy, V.V. Tuchin // *Materials (Basel).* – 2022. – 15(16). – P. 5696.
23. Rafailov, I.E. Computational model of bladder tissue based on its measured optical properties / I.E. Rafailov, V.V. Dremin, K.S. Litvinova, A.V. Dunaev, S.G. Sokolovski, E.U. Rafailov // *J. Biomed. Opt.* – 2016. – 21(2). – P. 025006.
24. Salomatina, E.V. Optical properties of normal and cancerous human skin in the visible and near-infrared spectral range / E. Salomatina, B. Jiang, J. Novak, A.N. Yaroslavsky // *J. Biomed. Opt.* – 2006. – 11(6). – P. 64026.
25. Bashkatov, A.N. Measurement of tissue optical properties in the context of tissue optical clearing / A.N. Bashkatov, K.V. Berezin, K.N. Dvoretzkiy, M.L. Chernavina, E.A. Genina, V.D. Genin, V.I. Kochubey, E.N. Lazareva, A.B. Pravdin, M.E. Shvachkina, P.A. Timoshina, D.K. Tuchina, D.D. Yakovlev, D.A. Yakovlev, I.Yu. Yanina, O.S. Zhernovaya, V.V. Tuchin // *J. Biomed. Opt.* – 2018. – 23(9). – P. 91416.
26. Nachabé, R. Effect of bile absorption coefficients on the estimation of liver tissue optical properties and related implications in discriminating healthy and tumorous samples / R. Nachabé, D.J. Evers, B.H.W. Hendriks, G.W. Lucassen, M. van der Voort, J. Wesseling, T.J.M. Ruers // *Biomed. Opt. Express.* – 2011. – 2(3). – P. 600-614.
27. Enevoldsen, M.S. A combined mathematical-physical model of laser-induced thermotherapy (LITT) / M.S. Enevoldsen, O. Skovgaard, P.E. Andersen // *European Conference on Biomedical Optics.* – Optica Publishing Group, 2009. – P. 7373_15.
28. Germer, C.T. Optical properties of native and coagulated human liver tissue and liver metastases in the near infrared range / C.T. Germer, A. Roggan, J.P. Ritz, C. Isbert, D. Albrecht, G. Müller, H.J. Buhr // *Lasers Surg. Med.* – 1998. – 23(4). – P. 194-203.
29. OECD Series on Principles of Good Laboratory Practice and Compliance Monitoring / Council of the Organisation for Economic cooperation and Development. – OECD Environmental Health and Safety Publications. 1998.
30. Prahl, S.A. Determining the optical properties of turbid media by using the adding-doubling method / S.A. Prahl, M.J.C. van Gemert, A.J. Welch // *Appl. Opt.* – 1993. – 32(4). – P. 559-568.
31. Maitland, D.J. Optical properties of human gallbladder tissue and bile / D.J. Maitland, J.T. Walsh, J.B. Prystowsky // *Appl. Opt.* – 1993. – 32(4). – P. 586-591.
32. Baldini, F. Analysis of the optical properties of bile / F. Baldini, P. Bechi, F. Cianchi, A. Falai, C. Fiorillo, P. Nassi // *J. Biomed. Opt.* – 2000. – 5(3). – P. 321-329.
33. Croce, A.C. Bilirubin: an autofluorescence bile biomarker for liver functionality monitoring / A.C. Croce, A. Ferrigno, G. Santin, M. Vairetti, G. Bottiroli // *J. Biophotonics.* – 2014. – 7(10). – P. 810-817.

34. Filatova, S.A. Optical properties of animal tissues in the wavelength range from 350 to 2600 nm / S.A. Filatova, I.A. Shcherbakov, V.B. Tsvetkov // J. Biomed. Opt. – 2017. – 22(3). – P. 35009.
35. Anderson, R.R. Selective photothermolysis of lipid-rich tissues: A free electron laser study / R.R. Anderson, W. Farinelli, H. Laubach, D. Manstein, A.N. Yaroslavsky, J. Gubeli 3rd, K. Jordan, G.R. Neil, M. Shinn, W. Chandler, G.P. Williams, S.V. Benson, D.R. Douglas, H.F. Dylla // Lasers Surg. Med. – 2006. – 38(10). – P. 913-919.
36. Tuchin, V.V. Tissue Optics: Light Scattering Methods and Instruments for Medical Diagnostics, Third Edition / V.V. Tuchin. – Bellingham, WA: SPIE, 2015. – 988 p.
37. Naulaers, G. Measurement of the liver tissue oxygenation by near-infrared spectroscopy / G. Naulaers, B. Meyns, M. Miserez, V. Leunens, S. Van Huffel, P. Casaer, H. Devlieger // Intensive Care Med. – 2005. – 31(1). – P. 138-141.
38. Parsa, P. Optical properties of rat liver between 350 and 2200 nm / P. Parsa, S.L. Jacques, N.S. Nishioka // Appl. Opt. – 1989. – 28(12). – P. 2325-2330.
39. Hale, G.M. Optical constants of water in the 200-nm to 200- μ m wavelength region / G.M. Hale, M.R. Querry // Appl. Opt. – 1973. – 12(3). – P. 555-563.
40. Lee, K. Measuring water contents in animal organ tissues using terahertz spectroscopic imaging / K. Lee, K. Jeoung, S.H. Kim, Y.-b. Ji, H. Son, Y. Choi, Y.-M. Huh, J.-S. Suh, S.J. Oh // Biomed. Opt. Express. – 2018. – 9(4). – P. 1582-1589.
41. Michael Peters, A. The precise physiological definition of tissue perfusion and clearance measured from imaging / A. Michael Peters // Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging. – 2018. – 45(7). – P. 1139-1141.
42. Zhou, W. Comparison of ablation zones among different tissues using 2450-MHz cooled-shaft microwave antenna: results in ex vivo porcine models / W. Zhou, M. Liang, H. Pan, X. Liu, Y. Jiang, Y. Wang, L. Ling, Q. Ding, S. Wang // PLoS One. – 2013. – 8(8). – P. e71873.

Кандурова Ксения Юрьевна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл

Аспирант кафедры приборостроения, метрологии и сертификации, стажер-исследователь научно-технологического центра биомедицинской фотоники

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29

E-mail: k.kandurova@oreluniver.ru

K.Y. KANDUROVA

SPECTROPHOTOMETRIC MEASUREMENTS OF THE OPTICAL PROPERTIES OF LIVER IN THE 350-1300 NM RANGE

Abstract. *The article presents the results of experimental and analytical determination of optical characteristics of liver for further modeling of light interaction with parenchyma under normal conditions and in case of structural and functional changes due to obstructive jaundice and other pathologies. In order to measure the optical properties of liver without hemoglobin contribution, we developed and tested a procedure for preparation of rat liver by perfusion with Hanks balanced salt solution with calcium to reduce the blood content in the vessels. Spectrophotometric measurements of diffuse reflectance, total and collimated transmittance in tissue slices and human bile samples were performed with further calculation of absorption and scattering coefficients and anisotropy factor by the inverse addition-doubling method. The efficiency of the perfusion method in determining the real optical properties of the liver by reducing the influence of blood on the measured transmittance and reflectance spectra was determined. The experimental data were compared with the calculated values of the liver absorption coefficient, taking into account the contribution of the major chromophores. The presented results will be the basis for further development of the technology and criteria for assessment of the functional state of the liver for timely determination of the degree and prognosis of liver failure.*

Keywords: *liver, bile, optical properties, spectrophotometry*

BIBLIOGRAPHY

1. Pavlidis, E.T. Pathophysiological consequences of obstructive jaundice and perioperative management / E.T. Pavlidis, T.E. Pavlidis // Hepatobiliary Pancreat. Dis. Int. – 2018. – 17(1). – P. 17-21.
2. Lukmonov, S. Minimally invasive biliary decompression methods in management of obstructive jaundice of malignant etiology / S. Lukmonov // HPB. – 2018. – 20. – P. S730.
3. Croce, A.C. Autofluorescence spectroscopy and imaging: A tool for biomedical research and diagnosis / A.C. Croce, G. Bottiroli // Eur. J. Histochem. – 2014. – 58(4). – P. 320-337.
4. Dunaev, A.V. Individual variability analysis of fluorescence parameters measured in skin with different levels of nutritive blood flow / A.V. Dunaev, V.V. Dremmin, E.A. Zhrebtsov, I.E. Rafailov, K.S. Litvinova, S.G. Palmer, N.A. Stewart, S.G. Sokolovski, E.U. Rafailov // Med. Eng. Phys. – Med. Eng. Phys. – 37(6). – P. 574-583.

5. Zherebtsov, E.A. Fluorescentnaya diagnostika mitokhondrialnoy funktsii v epitelialnykh tkanyakh in vivo: monografiya / E.A. Zherebtsov, V.V. Dremin, A.I. Zherebtsova, E.V. Potapova, Zherebtsov. – Orel: FGBOU VO «OGU imeni I.S. Turgeneva», 2018. – 107 p.
6. Dunaev, A.V. Multimodalnaya opticheskaya diagnostika mikrotsirkulyatorno-tkanevykh sistem organizma cheloveka: monografiya / A.V. Dunaev. – Staryy Oskol: TNT, 2022. – 440 p.
7. Kim, J.A. Optical spectroscopy for in vivo medical diagnosis—a review of the state of the art and future perspectives / J.A. Kim, D.J. Wales, G.-Z. Yang // *Prog. Biomed. Eng.* – 2020. – 2(4). – P. 42001.
8. Shrirao, A.B. Autofluorescence of blood and its application in biomedical and clinical research / A.B. Shrirao, R.S. Schloss, Z. Fritz, M.V. Shrirao, R. Rosen, M.L. Yarmush // *Biotechnol. Bioeng.* – 2021. – 118(12). – P. 4550-4576.
9. He, Z. Novel endoscopic optical diagnostic technologies in medical trial research: recent advancements and future prospects / Z. He, P. Wang, X. Ye // *Biomed. Eng. Online.* – 2021. – 20(1). – P. 1-38.
10. Dremin, V. Optical percutaneous needle biopsy of the liver: a pilot animal and clinical study / V. Dremin, E. Potapova, E. Zherebtsov, K. Kandurova, V. Shupletsov, A. Alekseyev, A. Mamoshin, A. Dunaev // *Sci. Rep.* – 2020. – 10(1). – P. 14200.
11. Zherebtsov, E.A. Fluorescence lifetime needle optical biopsy discriminates hepatocellular carcinoma / E.A. Zherebtsov, E.V. Potapova, A.V. Mamoshin, V.V. Shupletsov, K.Y. Kandurova, V.V. Dremin, A.Y. Abramov, A.V. Dunaev // *Biomed. Opt. Express.* – 2022. – 13(2). – P. 633-646.
12. Alfano, R. Optical biopsy for cancer detection / R. Alfano, Y. Pu // *Lasers for Medical Applications.* – Woodhead Publishing, 2013. – P. 325-367.
13. Spliethoff, J.W. In vivo characterization of colorectal metastases in human liver using diffuse reflectance spectroscopy: Toward guidance in oncological procedures / J.W. Spliethoff, L.L. de Boer, M.A. Meier, W. Prevo, J. de Jong, K. Kuhlmann, T.M. Bydlon, H.J. Sterenberg, B.H. Hendriks, T.J. Ruers // *J. Biomed. Opt.* – 2016. – 21(9). – P. 97004.
14. Braun, F. A customized multispectral needle probe combined with a virtual photometric setup for in vivo detection of Lewis lung carcinoma in an animal model / F. Braun, R. Schalk, M. Nachtmann, A. Hien, R. Frank, T. Beuermann, F.-J. Methner, B. Kränzlin, M. Rädle, N. Gretz // *Meas. Sci. Technol.* – 2019. – 30(10). – P. 104001.
15. Kandurova, K. Fiber-optic system for intraoperative study of abdominal organs during minimally invasive surgical interventions / K. Kandurova, V. Dremin, E. Zherebtsov, E. Potapova, A. Alyanov, A. Mamoshin, Y. Ivanov, A. Borsukov, A. Dunaev // *Appl. Sci.* – 2019. – 9(2). – P. 217.
16. Zherebtsov, E. Machine Learning Aided Photonic Diagnostic System for Minimally Invasive Optically Guided Surgery in the Hepatoduodenal Area / E. Zherebtsov, M. Zajnulina, K. Kandurova, E. Potapova, V. Dremin, A. Mamoshin, S. Sokolovski, A. Dunaev, E.U. Rafailov // *Diagnostics.* – 2020. – 10(11). – P. 873.
17. Jacques, S.L. Optical properties of biological tissues: a review / S.L. Jacques // *Phys. Med. Biol.* – 2013. – 58(11). – P. R37-61.
18. Bashkatov, A.N. Optical properties of skin, subcutaneous, and muscle tissues: a review // A.N. Bashkatov, E.A. Genina, V.V. Tuchin // *J. Innov. Opt. Health Sci.* – 2011. – 4(01). – P. 9-38.
19. Lister, T. Optical properties of human skin / T. Lister, P.A. Wright, P.H. Chappell // *J. Biomed. Opt.* – 2012. – 17(9). – P. 090901.
20. Carneiro, I. Measuring optical properties of human liver between 400 and 1000 nm / I. Carneiro, S. Carvalho, R. Henrique, L. Oliveira, V.V. Tuchin // *Quantum Electron.* – 2019. – 49(1). – P. 13-19.
21. Bosschaart, N. A literature review and novel theoretical approach on the optical properties of whole blood / N. Bosschaart, G.J. Edelman, M.C.G. Aalders, T.G. van Leeuwen, D.J. Faber // *Lasers Med. Sci.* – 2014. – 29(2). – P. 453-479.
22. Shanshool, A.S. Optical Properties and Fluence Distribution in Rabbit Head Tissues at Selected Laser Wavelengths / A.S. Shanshool, E.N. Lazareva, O. Hamdy, V.V. Tuchin // *Materials (Basel).* – 2022. – 15(16). – P. 5696.
23. Rafailov, I.E. Computational model of bladder tissue based on its measured optical properties / I.E. Rafailov, V.V. Dremin, K.S. Litvinova, A.V. Dunaev, S.G. Sokolovski, E.U. Rafailov // *J. Biomed. Opt.* – 2016. – 21(2). – P. 025006.
24. Salomatina, E.V. Optical properties of normal and cancerous human skin in the visible and near-infrared spectral range / E. Salomatina, B. Jiang, J. Novak, A.N. Yaroslavsky // *J. Biomed. Opt.* – 2006. – 11(6). – P. 64026.
25. Bashkatov, A.N. Measurement of tissue optical properties in the context of tissue optical clearing / A.N. Bashkatov, K.V. Berezin, K.N. Dvoretzkiy, M.L. Chernavina, E.A. Genina, V.D. Genin, V.I. Kochubey, E.N. Lazareva, A.B. Pravdin, M.E. Shvachkina, P.A. Timoshina, D.K. Tuchina, D.D. Yakovlev, D.A. Yakovlev, I.Yu. Yanina, O.S. Zhernovaya, V.V. Tuchin // *J. Biomed. Opt.* – 2018. – 23(9). – P. 91416.
26. Nachabé, R. Effect of bile absorption coefficients on the estimation of liver tissue optical properties and related implications in discriminating healthy and tumorous samples / R. Nachabé, D.J. Evers, B.H.W. Hendriks, G.W. Lucassen, M. van der Voort, J. Wesseling, T.J.M. Ruers // *Biomed. Opt. Express.* – 2011. – 2(3). – P. 600-614.
27. Enevoldsen, M.S. A combined mathematical-physical model of laser-induced thermotherapy (LITT) / M.S. Enevoldsen, O. Skovgaard, P.E. Andersen // *European Conference on Biomedical Optics.* – Optica Publishing Group, 2009. – P. 7373_15.
28. Germer, C.T. Optical properties of native and coagulated human liver tissue and liver metastases in the near infrared range / C.T. Germer, A. Roggan, J.P. Ritz, C. Isbert, D. Albrecht, G. Müller, H.J. Buhr // *Lasers Surg. Med.* – 1998. – 23(4). – P. 194-203.
29. OECD Series on Principles of Good Laboratory Practice and Compliance Monitoring / Council of the

- Organisation for Economic cooperation and Development. – OECD Environmental Health and Safety Publications. 1998.
30. Prahл, S.A. Determining the optical properties of turbid media by using the adding-doubling method / S.A. Prahл, M.J.C. van Gemert, A.J. Welch // Appl. Opt. – 1993. – 32(4). – P. 559-568.
31. Maitland, D.J. Optical properties of human gallbladder tissue and bile / D.J. Maitland, J.T. Walsh, J.B. Prystowsky // Appl. Opt. – 1993. – 32(4). – P. 586-591.
32. Baldini, F. Analysis of the optical properties of bile / F. Baldini, P. Bechi, F. Cianchi, A. Falai, C. Fiorillo, P. Nassi // J. Biomed. Opt. – 2000. – 5(3). – P. 321-329.
33. Croce, A.C. Bilirubin: an autofluorescence bile biomarker for liver functionality monitoring / A.C. Croce, A. Ferrigno, G. Santin, M. Vairetti, G. Bottiroli // J. Biophotonics. – 2014. – 7(10). – P. 810-817.
34. Filatova, S.A. Optical properties of animal tissues in the wavelength range from 350 to 2600 nm / S.A. Filatova, I.A. Shcherbakov, V.B. Tsvetkov // J. Biomed. Opt. – 2017. – 22(3). – P. 35009.
35. Anderson, R.R. Selective photothermolysis of lipid-rich tissues: A free electron laser study / R.R. Anderson, W. Farinelli, H. Laubach, D. Manstein, A.N. Yaroslavsky, J. Gubeli 3rd, K. Jordan, G.R. Neil, M. Shinn, W. Chandler, G.P. Williams, S.V. Benson, D.R. Douglas, H.F. Dylla // Lasers Surg. Med. – 2006. – 38(10). – P. 913-919.
36. Tuchin, V.V. Tissue Optics: Light Scattering Methods and Instruments for Medical Diagnostics, Third Edition / V.V. Tuchin. – Bellingham, WA: SPIE, 2015. – 988 p.
37. Naulaers, G. Measurement of the liver tissue oxygenation by near-infrared spectroscopy / G. Naulaers, B. Meyns, M. Miserez, V. Leunens, S. Van Huffel, P. Casaer, H. Devlieger // Intensive Care Med. – 2005. – 31(1). – P. 138-141.
38. Parsa, P. Optical properties of rat liver between 350 and 2200 nm / P. Parsa, S.L. Jacques, N.S. Nishioka // Appl. Opt. – 1989. – 28(12). – P. 2325-2330.
39. Hale, G.M. Optical constants of water in the 200-nm to 200- μ m wavelength region / G.M. Hale, M.R. Querry // Appl. Opt. – 1973. – 12(3). – P. 555-563.
40. Lee, K. Measuring water contents in animal organ tissues using terahertz spectroscopic imaging / K. Lee, K. Jeoung, S.H. Kim, Y.-b. Ji, H. Son, Y. Choi, Y.-M. Huh, J.-S. Suh, S.J. Oh // Biomed. Opt. Express. – 2018. – 9(4). – P. 1582-1589.
41. Michael Peters, A. The precise physiological definition of tissue perfusion and clearance measured from imaging / A. Michael Peters // Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging. – 2018. – 45(7). – P. 1139-1141.
42. Zhou, W. Comparison of ablation zones among different tissues using 2450-MHz cooled-shaft microwave antenna: results in ex vivo porcine models / W. Zhou, M. Liang, H. Pan, X. Liu, Y. Jiang, Y. Wang, L. Ling, Q. Ding, S. Wang // PLoS One. – 2013. – 8(8). – P. e71873.

Kandurova Ksenia Yurievna

Orel State University,

Postgraduate Student of the Department «Instrument Engineering, Metrology and Certification», research assistant of Research & Development Center of Biomedical Photonics

302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29

E-mail: k.kandurova@oreluniver.ru

© К.Ю. Кандурова, 2023

КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА, ИСПЫТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК620.179.1

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-361-5-127-133

Н.С. КОВАЛЬ, В.А. ЛЕБЕДЕВ, А.А. ШИРИН, О. А. ЗАХАРОВА

ПРИМЕНЕНИЕ ИНДУКЦИОННОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАМА В УСТРОЙСТВАХ С ВРАЩАЮЩИМСЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Аннотация. Заключительными операциями процесса переработки шламовых отходов являются разрушение их с целью выделения и ферромагнитной составляющей и ее последующее измельчение. Для этого используются устройство, содержащее камеру, внутрь которой помещается перерабатываемый объем шлама и подвергается воздействию вращающегося электромагнитного поля. При определенных значениях индукции ферромагнитная среда переходит в магнитовибрирующее состояние, кинетика которого определяет эффективность процесса разрушения конгломератов шлама. В работе обоснована возможность применения индукционного метода измерения для исследования процессов разрушения конгломератов шлама в условиях

экспериментальной установки с вращающимся электромагнитным полем. Определены конструктивные параметры измерительной катушки ее чувствительность. Представлены результаты исследований зависимости ЭДС от основных параметров процесса, обуславливающих разрушения конгломератов шлама во вращающемся электромагнитном поле.

Ключевые слова: вращающееся электромагнитное поле, индукционный метод, измерение, магнитная индукция, датчик трансформаторного типа

Исследование выполнено в рамках фундаментальных исследований гранта РФФИ №. 20-38-90006 «Разработка физико-технологических основ разделения магнитной и немагнитной компонент шламовых отходов металло-производства с применением электромагнитного поля».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев, В. А. Энергетические аспекты измельчения ферромагнитных частиц шлифовального шлама во вращающемся электромагнитном поле / В. А. Лебедев, А. А. Ширин, Н. С. Коваль // Транспортное машиностроение. - 2022. - №1-2 (1-2). - С. 29-39.
2. Либенсон, Г.А. Процессы порошок. Мет: в 2-х т. Т.1. Производство металлических порошков / Г.А. Либенсон, Лопатин В.Ю., Комарницкий Г.В./ МИСИС.- М., 2001.-368 с.
3. Вернигоров, Ю. М. Индукционный метод исследования параметров дисперсных ферромагнетиков / Ю. М. Вернигоров, В. А. Лебедев, К. К. Лелетко, А. А. Кочубей, Г. В. Дёмин // Транспортное машиностроение. - 2020. - №4 (89). - С. 4-10.
4. Вернигоров, Ю.М. Соударение частиц компактного ферромагнитного материала в магнитовибрирующем слое / Ю. М. Вернигоров // Вестник Донского государственного технического университета. - 2012. - Т. 12. № 1-1(62). - С. 95-98.
5. Каяк, Г. Л. Разработка технологии утилизации шлифовального шлама / Г. Л. Каяк, В. С. Фоменко, В. В. Андреев // Вестник инженерной школы Дальневосточного федерального университета. - 2017. - № 1 (30). - С. 60–67.
6. Дьяконов, О. М. Шламы металлообрабатывающего производства / О. М. Дьяконов // Литье и металлургия. - 2010. - № 1–2. - С. 154–159.
7. Повстяной, А. Ю. Использование отходов промышленного производства для изготовления материалов конструкционного назначения / А. Ю. Повстяной, В. Д. Рудь // Устойчивое развитие. - 2014. - № 19. - С. 159–164.
8. Букин, В. И. Переработка производственных отходов и вторичных сырьевых ресурсов, содержащих редкие, благородные и цветные металлы / В. И. Букин, М. С. Игумнов, Вал. Вл. Сафонов, Вл. Вал. Сафонов. — Москва: Деловая столица, 2002. — 224 с.
9. Комаров, О. С. Переработка и использование отходов, содержащих цветные металлы / О. С. Комаров, Д. О. Комаров, Н. И. Урбанович. — Минск: БНТУ, 2018. — 114 с.
10. Шаповалов, В. А. Переработка промышленных отходов металлопроизводства / В. А. Шаповалов, Ф. К. Биктагиров, В. Р. Бурнашев [и др.] // Современная электрометаллургия. — 2013. — № 1. — С. 40–44.
11. Кипарисов, С.С., Падалко О.В., Саруханов Р.Г. Оценка загрязненности и отчистки от СОЖ стружки быстрорежущей стали по переработке ее в порошок. – Порошковая металлургия, 1984, №6, с. 14 – 17.
12. Лебедев, В. А. Исследование процесса переработки конгломератов шлифовального шлама в устройствах с вращающимся электромагнитным полем / В. А. Лебедев, А. А. Ширин, Н. С. Коваль, Ю. М. Вернигоров // Advanced Engineering Research. - 2022. - №4. - С. 338-345

Лебедев Валерий Александрович

Донской государственный технический университет,
г.Ростов-на-Дону
Профессор кафедры технология машиностроения
344004, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1
E-mail: va.lebidev@yandex.ru

Ширин Андрей Александрович

Донской государственный технический университет,
г.Ростов-на-Дону
Аспирант кафедры технология машиностроения
344004, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1
E-mail: andrey.shirin.94@yandex.ru

Коваль Николай Сергеевич

Донской государственный технический университет,
г.Ростов-на-Дону
Доцент кафедры приборостроения и биомедицинской
инженерии
344004, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1
E-mail: koval-nc@mail.ru

Захарова Ольга Алексеевна

Донской государственный технический университет,
г.Ростов-на-Дону
Доцент кафедры информационные технологии
344004, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1
E-mail: oz64@mail.ru

N.S. KOVAL, V.A. LEBEDEV, A.A. SHIRIN, O.A. ZAKHAROVA

**APPLICATION OF THE INDUCTION MEASUREMENT METHOD
IN STUDYING THE PROCESS OF SLUDGE PROCESSING USING
A ROTATING ELECTROMAGNETIC FIELD**

Abstract. *The final operations of the sludge waste processing process are the destruction of the entire volume in order to isolate the ferromagnetic component and its subsequent grinding. For this, an experimental setup is used, containing a chamber, inside which the processed volume of sludge is placed and exposed to a rotating electromagnetic field. At certain values of induction, the particles pass into a magneto-vibrating state, the parameters of which determine the efficiency of the process. The induction method is used to measure the magnetic field induction. In this regard, it is necessary to substantiate the possibility of using it to study the process of processing sludge.*

The paper substantiates the possibility of using the inductive measurement method for studying the processes of destruction of ferromagnetic aggregates using an experimental setup with a rotating electromagnetic field. The design parameters of the measuring coil and its sensitivity are determined. The results of studies of the dependence of EMF on the main parameters of the process of destruction of ferromagnetic aggregates of sludge are presented.

Keywords: *rotating electromagnetic field, induction method, measurement, magnetic induction, transformer type sensor.*

BIBLIOGRAPHY

1. Lebedev, V. A.. Energeticheskiye aspekty izmelcheniya ferromagnitnykh chastits shlifovalnogo shlama vo vrashchayushchemsya elektromagnitnom pole / V. A. Lebedev, A. A. Shirin, N. S. Koval // Transport Engineering. - 2022. - № 1-2 (1-2). - S. 29-39.
2. Libenson G.A. Protsessy poroshk. Met: v 2-kh t. T.1. Proizvodstvo metallicheskih poroshkov / G.A. Libenson, Lopatin V.YU., Komarnitskiy G.V./ MISIS.- M., 2001.-368 s.
3. Vernigorov, Y. M. Induktsionnyy metod issledovaniya parametrov dispersnykh ferromagnetikov / Y. M. Vernigorov, V. A. Lebedev, K. K. Leletko, A. A. Kochubey, G. V. Domin // Transportnoye mashinostroyeniye. - 2020. - №4 (89). – S. 4-10.
4. Vernigorov, Y.M. Soudareniye chastits kompaktnogo ferromagnitnogo materiala v magnitovibriruyushchem sloye / Y. M. Vernigorov // Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - 2012. - T. 12. № 1-1(62). - S. 95-98.
5. Kayak, G. L. Razrabotka tekhnologii utilizatsii shlifovalnogo shlama / G. L. Kayak, V. S. Fomenko, V. V. Andreyev // Vestnik inzhenernoy shkoly Dalnevostochnogo federalnogo universiteta. - 2017. - № 1 (30). - S. 60–67.
6. Dyakonov, O. M. Shlamy metallobratatyvayushchego proizvodstva / O. M. Dyakonov // Lite i metallurgiya. - 2010. - № 1–2. - S. 154–159.
7. Povstyanoy, A. Y. Ispolzovaniye otkhodov promyshlennogo proizvodstva dlya izgotovleniya materialov konstruktsionnogo naznacheniya / A. Y. Povstyanoy, V. D. Rud // Ustoychivoye razvitiye. - 2014. - № 19. - S. 159–164.
8. Bukin, V. I. Pererabotka proizvodstvennykh otkhodov i vtorichnykh syryevykh resursov, sodержashchikh redkiye, blagorodnyye i tsvetnyye metally / V. I. Bukin, M. S. Igumnov, Val. Vl. Safonov, Vl. Val. Safonov. — Moskva: Delovaya stolitsa, 2002. — 224 s.
9. Komarov, O. S. Pererabotka i ispolzovaniye otkhodov, sodержashchikh tsvetnyye metally / O. S. Komarov, D. O. Komarov, N. I. Urbanovich. — Minsk: BNTU, 2018. — 114 s.
10. Shapovalov, V. A. Pererabotka promyshlennykh otkhodov metalloproizvodstva / V. A. Shapovalov, F. K. Biktagirov, V. R. Burnashev [i dr.] // Sovremennaya elektrometallurgiya. — 2013. — No 1. — S. 40–44.
11. Kiparisov S.S., Padalko O.V., Sarukhanov R.G. Otsenka zagryaznennosti i otchistki ot SOZH struzhki bystrorezhushchey stali po pererabotke yeye v poroshok. – Poroshkovaya metallurgiya, 1984, №6, s. 14 – 17.
12. Lebedev, V. A. Issledovaniye protsessa pererabotki konglomeratov shlifovalnogo shlama v ustroystvakh s vrashchayushchimsya elektromagnitnym polem // Advanced Engineering Research. - 2022. - №. 4. – S. 338-345.

Lebedev Valery Alexandrovich

Don State Technical University, Rostov-on-Don
 Professor. of the Department of Engineering Technique
 344004, Rostov-on-Don, pl. Gagarina, 1
 E-mail: va.lebidev@yandex.ru

Shirin Andrey Alexandrovich

Don State Technical University, Rostov-on-Don
 Postgraduate student of the Department of Engineering
 Technique
 344004, Rostov-on-Don, pl. Gagarina, 1
 E-mail: andrey.shirin.94@yandex.ru

Koval Nikolai Sergeevich

Don State Technical University, Rostov-on-Don
 Associate Professor of the Department of
 Instrumentation and Biomedical Engineering
 344004, Rostov-on-Don, pl. Gagarina, 1
 E-mail: koval-nc@mail.ru

Zakharova Olga Alekseevna

Don State Technical University, Rostov-on-Don
 Associate Professor of the Department of information
 Technology
 344004, Rostov-on-Don, pl. Gagarina, 1
 E-mail: oz64@mail.ru

© Н.С. Коваль, В.А. Лебедев, А.А. Ширин, О. А. Захарова, 2023

**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ДИНАМИКА, НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ
МЕХАНИЧЕСКИХ И БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ»**

УДК 621.039.5:539.4

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-361-5-134-142

М.Н. ЕРЕЕВ, К.А. ЛОНИН, Д.О. ПОТАМОВ, В.Л. ПАТРУШЕВ,
С.А. СОЛОВЬЕВ, Д.В. ЩЕКИН

**РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ
СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ЯЭУ**

Аннотация. В статье представлена методология расчетно-экспериментального обоснования динамической защищенности оборудования ядерной энергетической установки на примере обоснования сейсмостойкости исполнительных механизмов системы управления и защиты (ИМ СУЗ) реакторных установок (РУ) для атомных станций (АС) малой мощности. В соответствии с требованиями НП-001-15 сейсмостойкая АС должна обеспечивать безопасность при сейсмических воздействиях до уровня МРЗ включительно и выработку энергии вплоть до уровня ПЗ включительно. Обеспечение динамической защищенности оборудования РУ от внешних воздействий является отдельным классом задач, в которых проводится многокритериальная оценка прочности, безопасности, работоспособности, что регламентировано нормативными документами Российской Федерации. Сложность реализации экспериментов на натуральных моделях, их значительная стоимость, и сокращение сроков проектирования выдвигают на первый план компьютерные методы проектирования и расчетного виртуального моделирования. Учитывая сложность натурального обоснования прочности конструкции ИМ СУЗ, поставлена задача по расчетному обоснованию их сейсмостойкости. Результаты работы позволили провести замену натурального эксперимента по обоснованию сейсмостойкости ИМ СУЗ методами расчетного компьютерного моделирования с разработкой элементов цифровых двойников и их верификации на вибрационных и ударных стендах предприятия.

Ключевые слова: динамическая защищенность, землетрясение, исполнительный механизм, методология, привод, реакторная установка, сейсмостойкость, экспериментальное обоснование, цифровой двойник, численный эксперимент.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 НП-001-15 Общие положения обеспечения безопасности атомных станций.
- 2 НП-031-01. Нормы проектирования сейсмостойкости атомных станций. М., Госатомнадзор 2002 г.
- 3 НП-064-17 Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии.
- 4 ПНАЭ Г-7-002-86. Номы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. М., «Энергоатомиздат», 1989г.
- 5 РТМ 108.020.37-81 Оборудование атомных энергетических установок. Расчет на прочность при сейсмическом воздействии.
- 6 ГОСТ 30546.1-98 Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям и методы расчета их сложных конструкций в части сейсмостойкости.
- 7 ГОСТ 30546.2-98 Испытания на сейсмостойкость машин, приборов и других технических изделий. Общие положения и методы испытаний.
- 8 Амбришвили Ю.К., Ананьин А.И., Барченков А.Г. и др.; Под ред. Корнеева Б.Г., Смирнова А.Ф.. Динамический расчет специальных инженерных сооружений. – М.: Стройиздат, 1986.– 461 с.: ил- (Справочник проектировщика).
- 9 Саргсян А.Е. Динамика и сейсмостойкость сооружений атомных станций: монография/ Саргсян.- Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2013.-550с. – ил.
- 10 В.С. Алешин, Н.М. Кузнецов, А.А. Саркисов. Судовые ядерные реакторы. «Судостроение». Ленинград 1968 г.
- 11 Карпов Р.Н., Масленок Б.А., Цыганко О.Л.. Приводы регулирующих органов судовых атомных энергетических реакторов. «Судостроение». Ленинград 1965 г.
- 12 Лонин К.А., Панов В.А., Патрушев В.Л., Савчук Д.В., Соловьев С.А. Разработка цифровых моделей для решения задач вибропрочности реакторных установок. Сборник трудов конференции XIII Международная конференция по прикладной математике и механике в аэрокосмической отрасли (АММА12020), Алушта, 07 – 13 сентября 2020 года, 2020, С. 517-519.

13 Ереев М.Н., Патрушев В.Л., Савчук Д.В., Соловьев С.А. «Расчетные методы обоснования динамической защищенности оборудования РУ». Материалы Международного научного симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред», Т1 – М.: ООО «ТРП», 2022. 16-20 мая 2022 г., Калужская обл., МАИ НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова.

14 Ереев М.Н., Лонин К.А., Патрушев В.Л., Савчук Д.В., Соловьев С.А. «Моделирование процессов динамического нагружения при обосновании прочности оборудования РУ». Материалы XIV Международной конференции по Прикладной математике и механике в аэрокосмической отрасли «АММАИ2022», 4–13 сентября 2022 г. Алушта, Республика Крым.

15 К.А. Лонин, В.А. Панов, В.Л. Патрушев, Д.В. Савчук, С.А. Соловьев. «Особенности решения задач прочности при динамическом нагружении оборудования РУ». Сборник шестой международной научно-технической конференции «Динамика и виброакустика машин» DVM-2022. Самарский университет, 21-23 сентября 2022 г., г. Самара.

16 Панов В.А., Патрушев В.Л., Савчук Д.В., Соловьев С.А.. «Применение цифровых двойников механических систем при обосновании прочности оборудования АЭС». Журнал «Атомный проект», выпуск 32, апрель 2021 г., стр.26-27.

Ереев Михаил Николаевич
АО «ОКБМ Африкантов», г.
Нижний Новгород Кандидат
технических наук, начальник
отдела
603074, г. Нижний Новгород,
Бурнаковский проезд, 15
Тел. 8(831)246-94-28
E-mail: mnereev@okbm.nnov.ru

Лонин Константин Александрович
АО «ОКБМ Африкантов», г.
Нижний Новгород
инженер-конструктор
603074, г. Нижний Новгород,
Бурнаковский проезд, 15
Тел. 8(831)246-94-28
E-mail: vapanov@okbm.nnov.ru

Потамов Дмитрий Олегович
АО «ОКБМ Африкантов», г.
Нижний Новгород
инженер-конструктор
603074, г. Нижний Новгород,
Бурнаковский проезд, 15
Тел. 8(831)246-94-28
E-mail: vapanov@okbm.nnov.ru

Патрушев Владимир Леонидович
АО «ОКБМ Африкантов», г.
Нижний Новгород Кандидат
технических наук, главный
специалист
603074, г. Нижний Новгород,
Бурнаковский проезд, 15
Тел. 8(831)246-94-28
E-mail: vapanov@okbm.nnov.ru

Соловьев Сергей Александрович
АО «ОКБМ Африкантов», г.
Нижний Новгород Кандидат
технических наук, начальник бюро
603074, г. Нижний Новгород,
Бурнаковский проезд, 15
Тел. 8(831)246-94-28
E-mail: vapanov@okbm.nnov.ru

Щекин Дмитрий Владимирович
АО «ОКБМ Африкантов», г.
Нижний Новгород
Заместитель главного
конструктора
603074, г. Нижний Новгород,
Бурнаковский проезд, 15
Тел. 8(831)246-94-21
E-mail: shchekin@okbm.nnov.ru

M.N. EREEV, K.A. LONIN, D.O. POTAMOV, V.L. PATRUSHEV,
S.A. SOLOVIEV, D.V. SHCHEKIN

CALCULATION AND EXPERIMENTAL JUSTIFICATION OF SEISMIC RESISTANCE OF NPP EQUIPMENT

Abstract. *The article introduced a methodology of preparing an analytical and experimental justification of the atomic energy facility dynamic protection by presenting the seismic resistance justification for the control rod drive mechanism (CRDM) of small nuclear power plants(NPP) reactor plants. According to the NP-001-15 requirements, a seismic resistant NPP shall ensure safety during seismic impacts up to a safe-shutdown earthquake and shall continue power generation during seismic impacts up to a design-basis earthquake. Providing dynamic protection of the reactor plant equipment from external hazards is a separate kind of tasks that include a multi-criteria assessment of strength, safety and functional capability, as per the regulatory documents of the Russian Federation. Due to high difficulty of experiments on mock-up models, high price of such models and tightening designing schedule, computer-aided design and virtual computational modelling have come to the fore. Considering high difficulty of the CRDM strength justification made using mock-up models, it was decided to perform an analytical justification of the CRDM seismic resistance. The results of the study allowed substituting the CRDM seismic resistance justification with the computer-aided design methods, developing digital twins and performing their verification on vibration resistance testing and impact strength testing facilities available on-site.*

Keywords: *dynamic protection, drive mechanism, methodology, drive, reactor plant, seismic resistance, experimental justification, digital twin, numerical experiment.*

BIBLIOGRAPHY

- 1 NP-001-15 Obshchiye polozheniya obespecheniya bezopasnosti atomnykh stantsiy.
- 2 NP-031-01. Normy proyektirovaniya seysmostoykosti atomnykh stantsiy. M., Gosatomnadzor 2002 g.

3 NP-064-17 Uchet vneshnikh vozdeystviy prirodnogo i tekhnogenno proiskhozhdeniya na ob"yekty ispolzovaniya atomnoy energii. 4 PNAE G-7-002-86. Nomy rascheta na prochnost oborudovaniya i truboprovodov atomnykh energeticheskikh ustanovok. M., «Energoatomizdat», 1989g.

5 RTM 108.020.37-81 Oborudovaniye atomnykh energeticheskikh ustanovok. Raschet na prochnost pri seysmicheskom vozdeystvii.

6 GOST 30546.1-98 Obshchiye trebovaniya k mashinam, priboram i drugim tekhnicheskim izdeliyam i metody rascheta ikh slozhnykh konstruksiy v chasti seysmostoykosti.

7 GOST 30546.2-98 Ispytaniya na seysmostoykost mashin, priborov i drugikh tekhnicheskikh izdeliy. Obshchiye polozheniya i metody ispytaniy.

8 Ambriashvili YU.K., Ananin A.I., Barchenkov A.G. i dr.; Pod red. Korneyeva B.G., Smirnova A.F.. Dinamicheskiy raschet spetsialnykh inzhenernykh sooruzheniy. – M.: Stroyizdat, 1986.– 461 s.: il- (Spravochnik proyektirovshchika).

9 Sargsyan A.Ye. Dinamika i seysmostoykost sooruzheniy atomnykh stantsiy: monografiya/ Sargsyan.- Sarov: FGUP «RFYATS-VNIIEF», 2013.-550s. – il.

10 V.S. Aleshin, N.M. Kuznetsov, A.A. Sarkisov. Sudovyye yadernyye reaktory. «Cudostroyeniye». Leningrad 1968 g.

11 Karpov R.N., Maslenok B.A., Tsyganko O.L.. Privody reguliruyushchikh organov sudovykh atomnykh energeticheskikh reaktorov. «Cudostroyeniye». Leningrad 1965 g.

12 Lonin K.A., Panov V.A., Patrushev V.L., Savchuk D.V., Solovyev S.A. Razrabotka tsifrovyykh modeley dlya resheniya zadach vibroprochnosti reaktornykh ustanovok. Sbornik trudov konferentsii XIII Mezhdunarodnaya konferentsiya po prikladnoy matematike i mekhanike v aerokosmicheskoy otrasli (AMMAI2020), Alushta, 07 – 13 sentyabrya 2020 goda, 2020, S. 517-519.

13 Yereyev M.N., Patrushev V.L., Savchuk D.V., Solovyev S.A. «Raschetnyye metody obosnovaniya dinamicheskoy zashchishchennosti oborudovaniya RU». Materialy Mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma «Dinamicheskiye i tekhnologicheskkiye problemy mekhaniki konstruksiy i sploshnykh sred», T1 – M.: OOO «TRP», 2022. 16-20 maya 2022 g., Kaluzhskaya obl., MAI NII mekhaniki MGU im. M.V. Lomonosova.

14 Yereyev M.N., Lonin K.A., Patrushev V.L., Savchuk D.V., Solovyev S.A. «Modelirovaniye protsessov dinamicheskogo nagruzheniya pri obosnovanii prochnosti oborudovaniya RU». Materialy XIV Mezhdunarodnoy konferentsii po Prikladnoy matematike i mekhanike v aerokosmicheskoy otrasli «AMMAI2022», 4–13 sentyabrya 2022 g. Alushta, Respublika Krym.

15 K.A. Lonin, V.A. Panov, V.L. Patrushev, D.V. Savchuk, S.A. Solovyev. «Osobennosti resheniya zadach prochnosti pri dinamicheskom nagruzhenii oborudovaniya RU». Sbornik shestoy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Dinamika i vibroakustika mashin» DVM-2022. Samarskiy universitet, 21-23 sentyabrya 2022 g., g. Samara.

16 Panov V.A., Patrushev V.L., Savchuk D.V., Solovyev S.A.. «Primeneniye tsifrovyykh dvoynikov mekhanicheskikh sistem pri obosnovanii prochnosti oborudovaniya AES». Zhurnal «Atomnyy proyekt», vypusk 32, aprel 2021 g., str.26-27.

Ereev Mikhail Nikolaevich
JSC "Afrikantov OKBM", Nizhny
Novgorod Candidate of Technical
Sciences, Head of Department
603074, Nizhny Novgorod,
Burnakovskiy proezd, 15
Tel. 8(831)246-94-28
E-mail: mnereev@okbm.nnov.ru

Lonin Konstantin Alexandrovich
JSC "Afrikantov OKBM", Nizhny
Novgorod
design engineer
603074, Nizhny Novgorod,
Burnakovskiy proezd, 15
Tel. 8(831)246-94-28
E-mail: vapanov@okbm.nnov.ru

Potamov Dmitry Olegovich
JSC "Afrikantov OKBM", Nizhny
Novgorod
design engineer
603074, Nizhny Novgorod,
Burnakovskiy proezd, 15
Tel. 8(831)246-94-28
E-mail: vapanov@okbm.nnov.ru

Patrushev Vladimir Leonidovich
JSC "Afrikantov OKBM", Nizhny
Novgorod Candidate of Technical
Sciences, Chief Specialist
603074, Nizhny Novgorod,
Burnakovskiy proezd, 15
Tel. 8(831)246-94-28
E-mail: vapanov@okbm.nnov.ru

Soloviev Sergey Alexandrovich
JSC "Afrikantov OKBM", Nizhny
Novgorod Candidate of Technical
Sciences, Head of Bureau
603074, Nizhny Novgorod,
Burnakovskiy proezd, 15
Tel. 8(831)246-94-28
E-mail: vapanov@okbm.nnov.ru

Shchekin Dmitry Vladimirovich
JSC "Afrikantov OKBM", Nizhny
Novgorod
Deputy Chief Designer
603074, Nizhny Novgorod,
Burnakovskiy proezd, 15
Tel. 8(831)246-94-21
E-mail: shchekin@okbm.nnov.ru

© М.Н. Ереев, К.А. Лонин, Д.О. Потамов, В.Л. Патрушев, С.А. Соловьев, Д.В. Щекин, 2023

УДК 577:611.013

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-361-5-143-158

А.М. ПОЛЯКОВ, В.И. ПАХАЛЮК, П.А. БУГАЕВ

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РЕГЕНЕРАТИВНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ СУСТАВНОГО ХРЯЦА

Аннотация. Одной из важнейших задач современной медицины является разработка эффективных технологий лечения заболеваний суставов, обусловленных повреждением суставного хряща. Результаты экспериментальных исследований и ряд успешных клинических практик свидетельствуют о том, что ее решение может быть найдено в рамках нового медицинского направления - регенеративной реабилитации, синергетически сочетающего методы регенеративной и реабилитационной медицины. В частности, регенеративная реабилитация дефектов суставного хряща предполагает использование клеточных технологий, эффективность которых повышается за счет механической стимуляции хондрогенных клеток, ускоряющей их пролиферацию, дифференцировку и формирование внеклеточного матрикса. Результаты моделирования этого процесса свидетельствуют о том, что его исход зависит не только от набора параметров, определяемых состоянием ткани в зоне дефекта, но и от их сочетания. Целью данной работы является поиск наилучшего сочетания значений параметров, практически достижимых в процессе регенеративной реабилитации суставного хряща с использованием клеточных технологий и механической стимуляции клеток. Ее решение основано на систематическом исследовании пространства параметров математической модели регенеративной реабилитации ткани, рассчитываемых с использованием последовательностей точек, равномерно распределенных в многомерном пространстве.

Ключевые слова: Суставный хрящ, остеоартроз, имплантация стволовых клеток, механическая стимуляция клеток, регенеративная реабилитация, математическое моделирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Peng, T. A mathematical model of mechanotransduction reveals how mechanical memory regulates mesenchymal stem cell fate decisions, / T. Peng, L. Liu, A.L. MacLean, et al. // BMC Syst Biol. – 2017. – Vol.11(1). – 55.
2. Stojiljković, M. Therapeutic potential of mesenchymal stem cells in regenerative medicine / M. Stojiljković, D.M. Patel, J. Shah, J. Srivastava // Stem Cells Int. – 2013. – 496218.
3. Salinas, E.Y. A Guide for Using Mechanical Stimulation to Enhance Tissue-Engineered Articular Cartilage Properties / E.Y. Salinas, J.C. Hu, K. Athanasiou // Tissue Eng. Part B: Rev. – 2018. – Vol. 24. – P. 345-358.
4. Lutianov, M. A mathematical model of cartilage regeneration after cell therapy / M. Lutianov, S. Naire, S. Roberts, J.H. Kuiper // J Theor Biol. – 2011. – Vol. 289. – P. 136-150.
5. Campbell, K., Naire, S., Kuiper, J.H., 2019, A mathematical model of cartilage regeneration after chondrocyte and stem cell implantation - I: the effects of growth factors / K. Campbell, K., S. Naire, J.H. Kuiper // J Tissue Eng. – 2019. – Vol. 10. – 2041731419827791.
6. Campbell, K., Naire, S.; Kuiper, J.H., 2019, A mathematical model of cartilage regeneration after chondrocyte and stem cell implantation - II: the effects of co-implantation / K. Campbell, K., S. Naire, J.H. Kuiper // J Tissue Eng. – 2019. – Vol. 10. – 2041731419827792.
7. Popov, V.L. One-dimensional biological model of synovial joints regenerative rehabilitation in osteoarthritis / V.L. Popov, A.M. Poliakov, V.I. Pakhaliuk // Facta Universitatis, Series: Mech Eng. – 2022. – Vol. 20(20). – P. 421-444.
8. Li, K. Advances in Application of Mechanical Stimuli in Bioreactors for Cartilage Tissue Engineering / K. Li, C., Zhang, L., Qiu, L., et al. // Tissue Eng. Part B: Rev. – 2017. – Vol. 23. – P. 399-411.
9. Gamez, C. Bioreactor for mobilization of mesenchymal stem/stromal cells into scaffolds under mechanical stimulation: Preliminary results / C. Gamez, B. Schneider-Wald, A. Schuette, A, et al. // PloS one. – 2020. – Vol. 15(1). – e0227553.
10. Ravalli, S. New Insights on Mechanical Stimulation of Mesenchymal Stem Cells for Cartilage Regeneration / S. Ravalli, M.A. Szychlinska, J. Lauretta, G. Musumeci // Appl Sci. – 2020. – Vol. 10. – 2927.
11. Saadat, E. Long-term cyclical in vivo loading increases cartilage proteoglycan content in a spatially specific manner: an infrared microspectroscopic imaging and polarized light microscopy study / E. Saadat, H. Lan, S. Majumdar // Arthritis Res Ther. – 2006. – Vol. 8(5). – R147.
12. King, K.B. Cyclical articular joint loading leads to cartilage thinning and osteopontin production in a novel in vivo rabbit model of repetitive finger flexion / K.B. King, C.F. Opel, D.M. Rempel // Osteoarthritis and cartilage. – 2005. – Vol. 13(11). – 971978.
13. Reinold, M.M. Current concepts in the rehabilitation following articular cartilage repair procedures in the knee / M.M.Reinold, K.E. Wilk, L.C. Macrina, J.R. Dugas, E.L. Cain // The Journal of orthopaedic and sports physical therapy. – 2006. – Vol. 36(10). – P. 774-794.
14. Rose, L.F., Wolf, E.J., Brindle, T., et al., 2018, The convergence of regenerative medicine and rehabilitation: federal perspectives / L.F. Rose, E.J. Wolf, T. Brindle, et al. // NPJ Regen Med. – 2018. – Vol. 3. – 19.
15. Ежов М.Ю. Нерешенные проблемы регенерации хрящевой и костной ткани (обзорно-аналитическая статья) / М.Ю. Ежов, И.Ю. Ежов, А.К. Кашко и др. // Успехи современного естествознания. – 2015. - №5. – С. 126-131.
16. Соболев, И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / И.М. Соболев, Р.Б. Статников: АН СССР, Ин-т прикл. математики им. М. В. Келдыша. – М.: Наука, 1981. – 110 с.
17. Statnikov, R.B. Use of P_τ nets for the approximation of the Edgeworth-Pareto set in multicriteria optimization / R.B. Statnikov, J.B. Matusov // J Optim Theory Appl. – 1996. – Vol. 91(3). – P. 543-560.
18. Dominici, M. Minimal criteria for defining multipotent mesenchymal stromal cells. The International Society for Cellular Therapy position statement / M. Dominici, k. Le Blanc, I. Mueller, I., et al. // Cytotherapy. – 2006. – Vol. 8(4). – P. 315-317.
19. Bailón-Plaza, A. A mathematical framework to study the effects of growth factor influences on fracture healing / a. Bailón-Plaza, M.C. van der Meulen // J Theor Biol. – 2001. – Vol. 212(2). – P. 191-209.

20. Obradovic, B. Glycosaminoglycan deposition in engineered cartilage: Experiments and mathematical model / B. Obradovic, J. Meldon, L. Freed, G. Vunjak-Novakovic // Aiche Journal. – 2000. – Vol. 46. – P. 1860-1871.
21. Zhou, S. Factors influencing the oxygen concentration gradient from the synovial surface of articular cartilage to the cartilage-bone interface: a modeling study / S. Zhou, Z. Cui, J.P. Urban, J.P. // Arthritis Rheum. – 2004. – Vol. 50(12). – P. 3915-3924.
22. Соболев, И.М. О наилучших равномерно распределенных последовательностях / И.М. Соболев // Успехи математических наук. – 1977. – Т. 32. - №2. – С. 231-232.

Поляков Александр Михайлович
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
к.т.н., доцент, в.н.с., НЛ
«Биомеханика»,
ул. Университетская 33, г.
Севастополь, 299053
Тел. +7 978 703 88 26
E-mail: a.m.poljakov@sevsu.ru

Пахалюк Владимир Иванович
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный
университет»,
к.т.н., доцент, в.н.с. НЛ
«Биомеханика»,
ул. Университетская 33, г.
Севастополь, 299053
Тел. +7 978 764 06 00
E-mail: pahaluk@sevsu.ru

Бугаев Павел Александрович
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
к.т.н., доцент каф. «Судовождение
и безопасность судоходства»
ул. Университетская 33, г.
Севастополь, 299053
Тел. +7 978 855 61 40
E-mail: pabugayov@sevsu.ru

A.M. POLIAKOV, V.I. PAKHALIUK, P.A. BUGAYOV

OPTIMIZATION MATHEMATIC MODEL PARAMETERS OF REGENERATIVE REHABILITATION OF THE ARTICULAR CARTILAGE DEFECT

Abstract. *The most important task of modern medicine is the development of effective technologies for the treatment of joint diseases caused by damage to the articular cartilage. Results of experimental studies and a number of successful clinical practices indicate that its solution can be found within the framework of a new medical direction - regenerative rehabilitation, which synergistically combines methods of regenerative and rehabilitation medicine. In particular, regenerative rehabilitation of articular cartilage defects involves the use of cellular technologies, the effectiveness of which is enhanced by mechanical stimulation of chondrogenic cells, which accelerates their proliferation, differentiation, and formation of an extracellular matrix. The results of modeling this process indicate that its outcome depends not only on a set of parameters determined by the state of the tissue in the defect zone, but also on their combination. The aim of this work is to find the best combination of parameter values that are practically achievable in the process of regenerative rehabilitation of articular cartilage using cellular technologies and mechanical stimulation of cells. Its solution is based on a systematic study of the parameter space of the mathematical model of tissue regenerative rehabilitation calculated using sequences of points uniformly distributed in a multidimensional cube.*

Keywords: *Articular cartilage, osteoarthritis, stem cell implantation, mechanical cell stimulation, regenerative rehabilitation, mathematical model.*

BIBLIOGRAPHY

1. Peng, T. A mathematical model of mechanotransduction reveals how mechanical memory regulates mesenchymal stem cell fate decisions, / T. Peng, L. Liu, A.L. MacLean, et al. // BMC Syst Biol. – 2017. – Vol.11(1). – 55.
2. Stojiljković, M. Therapeutic potential of mesenchymal stem cells in regenerative medicine / M. Stojiljković, D.M. Patel, J. Shah, J. Srivastava // Stem Cells Int. – 2013. – 496218.
3. Salinas, E.Y. A Guide for Using Mechanical Stimulation to Enhance Tissue-Engineered Articular Cartilage Properties / E.Y. Salinas, J.C. Hu, K. Athanasiou // Tissue Eng. Part B: Rev. – 2018. – Vol. 24. – P. 345-358.
4. Lutianov, M. A mathematical model of cartilage regeneration after cell therapy / M. Lutianov, S. Naire, S. Roberts, J.H. Kuiper // J Theor Biol. – 2011. – Vol. 289. – P. 136-150.
5. Campbell, K., Naire, S., Kuiper, J.H., 2019, A mathematical model of cartilage regeneration after chondrocyte and stem cell implantation - I: the effects of growth factors / K. Campbell, K., S. Naire, J.H. Kuiper // J Tissue Eng. – 2019. – Vol. 10. – 2041731419827791.
6. Campbell, K., Naire, S.; Kuiper, J.H., 2019, A mathematical model of cartilage regeneration after chondrocyte and stem cell implantation - II: the effects of co-implantation / K. Campbell, K., S. Naire, J.H. Kuiper // J Tissue Eng. – 2019. – Vol. 10. – 2041731419827792.
7. Popov, V.L. One-dimensional biological model of synovial joints regenerative rehabilitation in osteoarthritis / V.L. Popov, A.M. Poliakov, V.I. Pakhaliuk // Facta Universitatis, Series: Mech Eng. – 2022. – Vol. 20(20). – P. 421-444.
8. Li, K. Advances in Application of Mechanical Stimuli in Bioreactors for Cartilage Tissue Engineering / K. Li, C., Zhang, L., Qiu, L., et al. // Tissue Eng. Part B: Rev. – 2017. – Vol. 23. – P. 399-411.
9. Gamez, C. Bioreactor for mobilization of mesenchymal stem/stromal cells into scaffolds under mechanical stimulation: Preliminary results / C. Gamez, B. Schneider-Wald, A. Schuette, A, et al. // PloS one. – 2020. – Vol. 15(1). – e0227553.
10. Ravalli, S. New Insights on Mechanical Stimulation of Mesenchymal Stem Cells for Cartilage Regeneration / S. Ravalli, M.A. Szychlinska, J. Lauretta, G. Musumeci // Appl Sci. – 2020. – Vol. 10. – 2927.

11. Saadat, E. Long-term cyclical in vivo loading increases cartilage proteoglycan content in a spatially specific manner: an infrared microspectroscopic imaging and polarized light microscopy study / E. Saadat, H. Lan, S. Majumdar // *Arthritis Res Ther.* – 2006. – Vol. 8(5). – R147.
12. King, K.B. Cyclical articular joint loading leads to cartilage thinning and osteopontin production in a novel in vivo rabbit model of repetitive finger flexion / K.B. King, C.F. Opel, D.M. Rempel // *Osteoarthritis and cartilage.* – 2005. – Vol. 13(11). – 971978.
13. Reinold, M.M. Current concepts in the rehabilitation following articular cartilage repair procedures in the knee / M.M.Reinold, K.E. Wilk, L.C. Macrina, J.R. Dugas, E.L. Cain // *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy.* – 2006. – Vol. 36(10). – P. 774-794.
14. Rose, L.F., Wolf, E.J., Brindle, T., et al., 2018, The convergence of regenerative medicine and rehabilitation: federal perspectives / L.F. Rose, E.J. Wolf, T. Brindle, et al. // *NPJ Regen Med.* – 2018. – Vol. 3. – 19.
15. Ezhov, M.Yu. Nereshennie problem regeneracii chriashevoy I kostnoy tkaney (obzorno-analiticheskaya statya) / M.Yu. Ezhov, I.Yu. Ezhiv, A.K. Kashko I dr. // *Uspekhi sovremennoego estetstvoznaniya.* – 2015. - №5. – С. 126-131.
16. Sobol, I.M. Vibor optimalnich parametrov v zadachah so mnogimi kriteriyami / I.M. Sobol, R.B. Statnikov: AN SSSR, In=t prikl. Matematiki im. Keldisha. – M.: Nauka, 1981. – 110 с.
17. Statnikov, R.B. Use of P_T nets for the approximation of the Edgeworth-Pareto set in multicriteria optimization / R.B. Statnikov, J.B. Matusov // *J Optim Theory Appl.* – 1996. – Vol. 91(3). – P. 543-560.
18. Dominici, M. Minimal criteria for defining multipotent mesenchymal stromal cells. The International Society for Cellular Therapy position statement / M. Dominici, k. Le Blanc, I. Mueller, I., et al. // *Cytotherapy.* – 2006. – Vol. 8(4). – P. 315-317.
19. Bailón-Plaza, A. A mathematical framework to study the effects of growth factor influences on fracture healing / a. Bailón-Plaza, M.C. van der Meulen // *J Theor Biol.* – 2001. – Vol. 212(2). – P. 191-209.
20. Obradovic, B. Glycosaminoglycan deposition in engineered cartilage: Experiments and mathematical model / B. Obradovic, J. Meldon, L. Freed, G. Vunjak-Novakovic// *Aiche Journal.* – 2000. – Vol. 46. – P. 1860-1871.
21. Zhou, S. Factors influencing the oxygen concentration gradient from the synovial surface of articular cartilage to the cartilage-bone interface: a modeling study / S. Zhou, Z. Cui, J.P. Urban, J.P // *Arthritis Rheum.* – 2004. – Vol. 50(12). – P. 3915-3924.
22. Sobol, I.M. O nailuchshih ravnomerno raspredelennich posledovstelnostiah / I.M. Sobol // *Uspehi matematicheskikh nauk.* – 1977. – T. 32. - №2. – С. 231-232.

Polyakov Aleksandr Mixajlovich
FGAOU VO «Sevastopol'skij gosudarstvenny'j universitet», k.t.n., docent, v.n.s., NL «Biomexanika», ul. Universitetskaya 33, g. Sevastopol', 299053
Tel. +7 978 703 88 26
E– mail: a.m.poljakov@sevsu.ru

Paxalyuk Vladimir Ivanovich
FGAOU VO «Sevastopol'skij gosudarstvenny'j universitet», k.t.n., docent, v.n.s. NL «Biomexanika», ul. Universitetskaya 33, g. Sevastopol', 299053
Tel. +7 978 764 06 00
E– mail: pahaluk@sevsu.ru

Bugaev Pavel Aleksandrovich
FGAOU VO «Sevastopol'skij gosudarstvenny'j universitet», k.t.n., docent kaf. «Sudovozhdenie i bezopasnost' sudoxodstva» ul. Universitetskaya 33, g. Sevastopol', 299053
Tel. +7 978 855 61 40
E– mail: pabugayov@sevsu.ru

© А.М. Поляков, В.И. Пахалюк, П.А. Бугаев, 2023

УДК 621.8-1/-9; 519.687.7

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-361-5-159-164

З.А. ГОДЖАЕВ, С.Е. СЕНЬКЕВИЧ, В.А. КУЗЬМИН, И.С. МАЛАХОВ

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ АДАПТИВНЫХ ХОДОВЫХ СИСТЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГОСРЕДСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Аннотация. В статье рассмотрено одно из наиболее приоритетных направлений при разработке МЭС, это повышение долговечности машины. Само по себе это явление приводит к циклическому нагружению элементов конструкции, которые подвергаются циклическому нагружению, что вызывает многоцикловую усталость конструкций. Проведенные исследования показывают, что количество тягово-транспортных сельскохозяйственных энергосредств в возрасте 15 лет и более составляют 70% от общего парка машин, то повышение долговечности МЭС позволит эксплуатировать ее в более длительный срок. Применение адаптивной ходовой системы МЭС с элементами искусственного интеллекта, предполагает снижение давления на почву на 25% и уменьшения буксования двигателя до 35%, а также снижать уровень виброактивности элементов конструкции МЭС, что позволит существенно улучшить условия труда оператора; защитить МЭС от воздействия вибраций, повысить долговечность благодаря снижению динамических нагрузок, а в последствии повысить сопротивление усталости и надежность МЭС.

Ключевые слова: долговечность, элементы конструкции, МЭС, адаптивная система, пневмоэлемент, жесткость, искусственный интеллект, нейронная сеть.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Годжаев, З.А. Разработка и создание ходовых систем сельскохозяйственных тракторов со сменной полугусеницей / З. А. Годжаев, Е. В. Овчинников, А. С. Овчаренко // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2023. – Т. 24, № 3. – С. 498-509. – DOI 10.30766/2072-9081.2023.24.3.498-509. – EDN FQJGIQ.
2. Годжаев, З. А. Вибрационная защита гидравлической системы подпрессоривания мобильных машин с применением активного регулирования нейросетевым контроллером / З. А. Годжаев, С. Е. Сенькевич, В. А. Кузьмин // Тракторы и сельхозмашины. – 2019. – № 4. – С. 43-49. – DOI 10.31992/0321-4443-2019-4-43-49. – EDN OZQAPF.
3. Роботизированные и автоматизированные системы в автомобиле- и тракторостроении: материалы Всероссийской научной конференции, Воронеж, 21 сентября 2022 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. – 159 с. – EDN BYQLXJ.
4. Годжаев, Т.З. Обоснование функциональных характеристик сельскохозяйственных мобильных энергосредств в многокритериальной постановке / Т.З. Годжаев, В. А. Зубина, И. С. Малахов // Тракторы и сельхозмашины. – 2022. – Т. 89, № 6. – С. 411-420. – DOI 10.17816/0321-4443-121325. – EDN XTFDEB.
5. Годжаев, З. А. Разработка стенда для испытания системы управления беспилотным зерноуборочным комбайном / З. А. Годжаев, Н. С. Крюковская, С. Е. Сенькевич // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 5-14. – DOI 10.14529/engin200301. – EDN XMQJJW.
6. Годжаев, З. А. Перспективные проекты по созданию роботизированных мобильных энергетических средств сельскохозяйственного назначения / З. А. Годжаев, С. Е. Сенькевич, В. А. Кузьмин // Материалы XII мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2019): Материалы XII мультиконференции. В четырех томах, Дивноморское, Геленджик, 23–28 сентября 2019 года. Том 2. – Дивноморское, Геленджик: Издательство Южного федерального университета, 2019. – С. 127-129. – EDN YXYDVI.
7. К вопросу синтеза системы управления технологическими процессами при выполнении полевых операций мобильным энергосредством / З. А. Годжаев, С. Е. Сенькевич, С. Э. Лонин [и др.] // Современные тенденции в научном обеспечении агропромышленного комплекса: Коллективная монография / Под редакцией В.В. Окоркова. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Верхневолжский федеральный аграрный научный центр", 2019. – С. 262-265. – EDN WBHNLA.
8. Повышение долговечности силовых передач МЭС за счет снижения их динамической нагруженности / С. Е. Сенькевич, З. А. Годжаев, Е. Н. Ильченко, И. С. Алексеев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2021. – Т. 21, № 3. – С. 22-33. – DOI 10.14529/engin210302. – EDN ZPSOCR.
9. Методы расчета на прочность тракторов и других мобильных машин / С.С. Дмитриченко, З.А. Годжаев, О. А. Русанов [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – № 1. – С. 12-15.
10. Биргер И.А. Расчет на прочность деталей машин / И.А. Биргер, Б.Ф. Шор, Г.Б. Иосилевич // Справочник, – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с.
11. Серенсен С.В. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность / С.В. Серенсен, В.П. Когаев, Р.М. Шнейдерович //Руководство и справочное пособие. Под ред. С.В. Серенсена. – М.: Машиностроение, 1975. – 488 с.

Годжаев Захид Адыгезалович

ФГБНУ "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ", 109428, РФ, г. Москва,
доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, член-корреспондент РАН
Отдел «Мобильные энергосредства»
109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5
Тел. +7(499) 174–81–82
E-mail: fic51@mail.ru

Кузьмин Виктор Александрович

ФГБНУ "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ", 109428, РФ, г. Москва,
кандидат технических наук, научный сотрудник,
Отдел «Мобильные энергосредства»
109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5
Тел. +7(499) 174–81–82

Сенькевич Сергей Евгеньевич

ФГБНУ "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ", 109428, РФ, г. Москва,
кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник,
Отдел «Мобильные энергосредства»
109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5
Тел. +7(499) 170–91–92
E-mail: umo.viesh@list.ru

Малахов Иван Сергеевич

ФГБНУ "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ", 109428, РФ, г. Москва,
аспирант,
Отдел «Мобильные энергосредства»
109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5
Тел. +7(499) 174–81–82

Z.A. GODZHAYEV, S.Ye. SENKEVICH, V.A. KUZMIN, I.S. MALAKHOV

THE CONCEPT OF CREATING ADAPTIVE RUNNING SYSTEMS OF AGRICULTURAL MOBILE POWER VEHICLES USING ELEMENTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Abstract. *The article considers one of the most priority areas in the development of MES, this is an increase in the durability of the machine. By itself, this phenomenon leads to cyclic loading of structural elements that are subjected to cyclic loading, which causes high-cycle fatigue of structures. The conducted studies show that the number of traction and transport agricultural power vehicles aged 15 years or more make up 70% of the total fleet of vehicles, then increasing the durability of the MES will allow it to be operated for a longer period. The use of an MES adaptive running system with elements of artificial intelligence implies a decrease in pressure on the soil by 25% and a decrease in propulsion slipping by up to 35%. It also reduces the level of vibration activity of MES structural elements, which will significantly improve the working conditions of the operator; protect the MES from vibrations, increase durability due to the reduction of dynamic loads, and subsequently increase the fatigue resistance and reliability of the MES.*

Keywords: Durability, Structural Elements, Adaptive System, Pneumatic Element, Stiffness, Artificial Intelligence, Neural Network.

BIBLIOGRAPHY

- 1.. Godzhaev, Z.A. Development and creation of running systems for agricultural tractors with a replaceable half-track / Z. A. Godzhaev, E. V. Ovchinnikov, A. S. Ovcharenko // Agrarian science of the Euro-North-East. - 2023. - T. 24, No. 3. - S. 498-509. – DOI 10.30766/2072-9081.2023.24.3.498-509. – EDN FQJGIQ.
2. Godzhaev, Z.A., Senkevich, S.E., Kuzmin, V.A., Vibration protection of the hydraulic suspension system of mobile machines using active regulation by a neural network controller, Tractors and agricultural machines. - 2019. - No. 4. - P. 43-49. – DOI 10.31992/0321-4443-2019-4-43-49. – EDN OZQAPF.
3. Robotic and automated systems in the automotive and tractor industry: materials of the All-Russian Scientific Conference, Voronezh, September 21, 2022. – Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after V.I. G.F. Morozova, 2022. - 159 p. – EDN BYQLXJ.
4. Godzhaev, T.Z. Substantiation of the functional characteristics of agricultural mobile power facilities in a multi-criteria setting / T.Z. Godzhaev, V. A. Zubina, I. S. Malakhov // Tractors and agricultural machines. - 2022. - T. 89, No. 6. - S. 411-420. – DOI 10.17816/0321-4443-121325. – EDN XTFDEB.
5. Godzhaev, Z. A., Kryukovskaya, N. S., and Senkevich, S. E., Development of a stand for testing the control system of an unmanned grain harvester, Bulletin of the South Ural State University. Series: Engineering. - 2020. - T. 20, No. 3. - S. 5-14. – DOI 10.14529/engin200301. – EDN XMQJJW.
6. Godzhaev, Z. A. Prospective projects for the creation of robotic mobile energy facilities for agricultural purposes / Z. A. Godzhaev, S. E. Senkevich, V. A. Kuzmin // Proceedings of the XII multi-conference on management problems (MKPU-2019): Materials of the XII multiconference. In four volumes, Divnomorskoye, Gelendzhik, September 23–28, 2019. Volume 2. - Divnomorskoye, Gelendzhik: Southern Federal University Publishing House, 2019. - P. 127-129. – EDN YXYDVI.
7. On the issue of synthesis of a control system for technological processes in the performance of field operations by a mobile power facility / Z. A. Godzhaev, S. E. Senkevich, S. E. Lonin [et al.] // Modern trends in the scientific support of the agro-industrial complex: Collective monograph / Edited by V.V. Okorkov. - Ivanovo: Federal State Budgetary Scientific Institution "Upper Volga Federal Agrarian Research Center", 2019. - P. 262-265. – EDN WBHNLA.
8. Senkevich S. E., Godzhaev Z. A., Ilchenko E. N., Alekseev I. S. Increased durability of MES power transmissions by reducing their dynamic loading // Bulletin of the South Ural State University. Series: Engineering. - 2021. - V. 21, No. 3. - S. 22-33. – DOI 10.14529/engin210302. – EDN ZPSOCR.
9. Calculation methods for the strength of tractors and other mobile machines / S.S. Dmitrichenko, Z.A. Godzhaev, O. A. Rusanov [et al.] // Tractors and agricultural machines. - 2001. - No. 1. - S. 12-15.
10. Birger I.A. Calculation for the strength of machine parts / I.A. Birger, B.F. Shor, G.B. Iosilevich // Handbook, - M.: Mashinostroenie, 1979. - 702 p.
11. Serensen S.V. Bearing capacity and calculation of machine parts for strength / S.V. Serensen, V.P. Kogaev, R.M. Shneiderovich // Guide and reference guide. Ed. S.V. Sorensen. - M.: Mashinostroenie, 1975. - 488 p.

Godzhaev Zahid Adygezalovich
Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
Moscow,

Senkevich Sergey Evgenievich
Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
Moscow,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief
Researcher, Corresponding Member of the Russian
Academy of Sciences
Department "Mobile energy"
109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutskiy
proezd, 5
phone number. +7(499) 174–81–82
E–mail: fic51@mail.ru

Kuzmin Viktor Alexandrovich
Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
Moscow,
Candidate of Technical Sciences, Researcher,
109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutskiy
proezd, 5
Department "Mobile energy"
Phone number. +7(499) 174–81–82
E–mail: kuzmin.viktor92@mail.ru

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Senior Researcher,
Department "Mobile energy"
109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutskiy
proezd, 5
Phone number. +7(499) 174–81–82
E–mail: umo.viesh@list.ru

Malakhov Ivan Sergeevich
Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
Moscow,
graduate student,
109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutskiy
proezd, 5
Department "Mobile energy"
Phone number. +7(499) 174–81–82
E–mail: malahovivan2008@mail.ru

© З.А. Годжаев, С.Е. Сенькевич, В.А. Кузьмин, И.С. Малахов, 2023

УДК 502.174:697.7

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-361-5-165-170

Е.В. БУРКОВА, Д.В. БУРКОВ

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРВОГО КАСКАДА СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА И ОЦЕНКА КПД

Аннотация. В работе дается сравнительный анализ солнечных коллекторов первого каскада типа лист-труба и типа гофрированная пластина в составе трёхкаскадной гелиоустановки. Приведены результаты вычислений эффективности и КПД этих коллекторов, построены графики конструктивной эффективности и КПД от скорости движения жидкости в коллекторе типа лист-труба и пластина. Сделан вывод о целесообразности применения солнечных коллекторов типа пластина в первом каскаде трёхкаскадной гелиоустановки.

Ключевые слова: солнечная энергия, солнечный коллектор, система солнечного теплоснабжения, каскадные гелиоустановки, КПД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буркова Е. В., Горбатов О.И., Бурков Д. В. Основные принципы создания каскадных гелиоустановок для сезонного горячего водоснабжения / Е. В. Буркова, О.И. Горбатов, Д. В. Бурков // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии* – 2021. – № 6 (350). – С. 167-171.
2. Буркова Е. В. Использование солнечной энергии для теплоснабжения для объектов индивидуального жилищного строительства / Е. В. Буркова, Д. В. Бурков // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии* – 2022. – № 4 (354). – С. 101-108.
3. Гершкович В. Солнечные установки горячего водоснабжения / В. Гершкович // *Возобновляемая энергетика*. – 2008. – №1. – С. 11 – 24.
4. Установки солнечного горячего водоснабжения. Нормы проектирования. ВСН 52-86. – М.: Стройиздат, 1988. – 13 с.
5. Даффи Дж.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Дж.А.Даффи, У.А.Бекман; под ред. Вишнякова В. – М.: Мир, 1977. – 420 с.
6. Аvezов Р.Р. Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения / Р.Р. Аvezов, А. Ю. Орлов. – Ташкент. – 1988г.- 288с.
7. Справочник по теплообменникам: В2 т. Т. 1/с74 Пер.с англ., под ред. Б.С. Петухова, В.К. Шикова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 560 с.: ил.
8. Коваленко Л. М., Глушков А. Ф. Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи. – М.: Энергоатомиздат 1986. – 240 с.: ил.
9. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод), издание 3-е, Изд-во: НПО ЦКТИ-ВТИ, Санкт-Петербург, 1998 - 257 с.

10. Полуниин М. М. Гелиотопливная система горячего водоснабжения повышенной эффективности / М. М. Полуниин, В. Д. Петра, А.Ф. Скребнев // Экологические технологии и ресурсосбережение. – 2002. – № 4. – С. 20-23.

Буркова Елена Викторовна

Севастопольский государственный университет, г.

Севастополь

Кандидат технических наук, доцент кафедры

«Техногенная безопасность и метрология»

E-mail: lena1b@mail.ru

Бурков Дмитрий Валериевич

Севастопольский государственный университет, г.

Севастополь

Кандидат технических наук, доцент кафедры

«Энергоустановки морских судов и сооружений»

E-mail: dv.burkov@mail.ru

E.V. BURKOVA, D.V. BURKOV

**DESIGN FEATURES OF THE 1ST SOLAR COLLECTOR CASCADE
AND EFFICIENCY ASSESSMENT**

Abstract. *The paper provides a comparative analysis of solar collectors of the 1st stage of the sheet-tube type and the corrugated plate type as part of a three-stage solar installation. The results of calculations of the efficiency and efficiency of these collectors are presented, graphs of the constructive efficiency and efficiency of the fluid velocity in the collector type sheet-pipe and plate are constructed. The conclusion is made about the expediency of using solar collectors of the plate type in the 1st stage of a three-stage solar installation.*

Keywords: *solar energy, solar collector, solar heat supply system, cascade solar installations, efficiency.*

BIBLIOGRAPHY

1. Burkova E. V., Gorbatykh O.I., Burkov D. V. Basic principles of creating cascade solar installations for seasonal hot water supply / E. V. Burkova, O.I. Gorbatykh, D. V. Burkov // Fundamental and applied problems of engineering and technology – 2021. – № 6 (350). – Pp. 167-171.
2. Burkova E. V. The use of solar energy for heat supply for individual housing construction objects / E. V. Burkova, D. V. Burkov // Fundamental and applied problems of engineering and technology – 2022. – № 4 (354). – Pp. 101-108.
3. Gershkovich V. Solar installations of hot water supply / V. Gershkovich // Renewable energy. - 2008. – No. 1. – p. 11-24.
4. Solar hot water supply installations. Design standards. VSN 52-86. – Moscow: Stroyizdat, 1988. – 13 p.
5. Duffy J.A. Thermal processes using solar energy / J.A.Duffy, W.A.Beckman; ed. Vishnyakova V. – M.: Mir, 1977. – 420 p.
6. Avezov R.R. Solar heating and hot water supply systems / R.R. Avezov, A. Y. Orlov. – Tashkent. – 1987. Reference book on heat exchangers: V2 T. T. 1/s74 Trans. from English, edited by B.S. Petukhov, V.K. Shikov. – M.: Energoatomizdat, 1987. – 560 p.: ill.
8. Kovalenko L. M., Glushkov A. F. Heat exchangers with heat transfer intensification. – M.: Energoatomizdat 1986. – 240 p.: ill.
9. Thermal calculation of boilers (Normative method), 3rd edition, Ed.: NPO TSKTI-VTI, St. Petersburg, 1998 - 257 p.
10. Polunin M. M. Solar fuel system of hot water supply of increased efficiency / M. M. Polunin, V. D. Petra, A.F. Skrebnev // Environmental technologies and resource conservation. - 2002. – No. 4. – pp. 20-23.

Burkova Elena Viktorovna

Sevastopol State University, Sevastopol

Ph.D., associate professor of the Department

«Technogenic safety and metrology»

E-mail: lena1b@mail.ru

Burkov Dmitiy Valerievich

Sevastopol State University, Sevastopol

Ph.D., associate professor of the Department «Power

plants of ships and structures»

E-mail: dv.burkov@mail.ru

© Е.В. Буркова, Д.В. Бурков, 2023

УДК 721.021.22

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-361-5-171-178

К.В. ПЕРЕПАДЯ, М.Г. БАЛАШОВ, Г.В. ЛЕКАРЕВ

ПОСТРОЕНИЕ ОБВОДОВ ЛЕКАЛ СБОРОЧНОЙ ПОСТЕЛИ

Аннотация. Судостроение и судоремонт относятся к машиностроительной отрасли, поэтому ряд задач, связанных с постройкой судов и объектов океанотехники перекликаются с другими областями машиностроения. В статье рассмотрено построение обводов лекал специального технологического оборудования судостроительного производства (сборочной постели), которое обеспечивает возможность сборки конструкций сложной криволинейной формы. Показано поэтапное выполнение построения с помощью САД-программ на компьютере. В результате построения получаем обводы лекал для изготовления сборочной постели.

Ключевые слова: корпус судна, секция, сборочная постель, контрольная плоскость, черчение, шпация.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлерштейн Л.Ц., Оптические методы выполнения проверочных работ в судостроении / Л.Ц. Адлерштейн, В.Ф. Соколов – Л.: Изд. ЛКИ, 1978. – 129 с.
2. Доброленский В.П. Проверочные работы с применением оптических приборов. Методические указания к лабораторной работе / В.П. Доброленский, А.С. Роганов, В.Ф. Соколов – Л.: Изд. ЛКИ, 1985. – 211 с.
3. Мацкевич В.Д. Основы технологии судостроения, – Л.: Судостроение, 1980. – 351 с.
4. Никонов С.Н. Судовая разметка / С.Н. Никонов, В.П. Панкратов. – Л.: Судостроение, 1982. – 336 с.
5. Кулик Ю.Г. Технология судостроения и судоремонта/Ю.Г. Кулик, Ю.В. Сумеркин. – М.: Транспорт, 1988. – 352 с.
6. Гармашев А.Д. Технология судостроения/А.Д. Гармашев, В.Л. Александров, А.Р. Арью, Э.В. Ганов, А.В. Догадин, В.Ю. Лейзерман, А.С. Роганов, И.А. Соколова, П.И. Щербинин; под общ. ред. А.Д. Гармашева. – Спб.: Профессия, 2003. – 342 с.

Перепада Константин Васильевич
Севастопольский государственный университет, г. Севастополь
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Океанотехника и кораблестроение»
299053, г. Севастополь,
ул. Университетская, 33
Ph.: 8(978) 867–70–52
E–mail: k_perepadya@mail.ru

Балашов Михаил Георгиевич
Севастопольский государственный университет, г. Севастополь
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Океанотехника и кораблестроение»
299053, г. Севастополь,
ул. Университетская, 33
Ph.: 8(978) 838–27–60
E–mail: 79788382760@yandex.ru

Лекарев Геннадий Викторович
Севастопольский государственный университет, г. Севастополь
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Океанотехника и кораблестроение»
299053, г. Севастополь,
ул. Университетская, 33
Ph.: 8(978) 103–80–88
E–mail: glek@yandex.ru

K.V. PEREPADYA, M.G. BALASHOV, G.V. LEKAREV

CONSTRUCTION OF THE LINES OF THE ASSEMBLY BED

Abstract. Shipbuilding and ship repair belong to the engineering industry, so a number of tasks related to the construction of ships and ocean technology objects have something in common with other areas of engineering. The article considers the construction of contours of patterns of special technological equipment for shipbuilding production (assembly bed), which provides the ability to assemble structures of a complex curved linear shape. The step-by-step execution of construction using CAD programs on a computer is shown. As a result of the construction, we obtain the contours of the patterns for the manufacture of the assembly bed.

Keywords: vessel hull, section, bed, control plane, drawing, shpation

BIBLIOGRAPHY

- 1 Adlerstein L.Ts, Optical methods of performing verification work in shipbuilding / L.TS Adlerstein, V.F. Sokolov - L.: LKI Publishing House, 1978. – 129 p.
- 2 Dobrolensky V.P. Verification work with the use of optical devices. Methodological guidelines for laboratory work / V.P. Dobrolensky, A.S. Roganov, V.F. Sokolov - L.: LKI Publishing House, 1985. – 211 p.
- 3 Matskevich V.D. Fundamentals of shipbuilding technology, - L.: Shipbuilding, 1980. – 351 p.
- 4 Nikonov S.N. Ship marking / S.N. Nikonov, V.P. Pankratov. - L.: Shipbuilding, 1982. – 336 p.
5. Kulik Yu.G. Technology of shipbuilding and ship repair / Yu.G. Kulik, Yu.V. Sumerkin. – M.: Transport, 1988. – 352 p.

6. Garmashev A.D. Shipbuilding technology / A.D. Garmashev, V.L. Alexandrov, A.R. Aryu, E.V. Ganov, A.V. Dogadin, V.Yu. Leizerman, A.S. Roganov, I.A. Sokolova, P.I. Shcherbinin; under total ed. HELL. Garmashev. - St. Petersburg: Profession, 2003. - 342 p.

Perepadya Konstantin Vacilevich
Sevastopol State University,
Sevastopol
Ph.D., assistant professor of
Department of Ocean Engineering
and Shipbuilding
299053, Sevastopol,
Universitetskaya street, 33
Ph.: 8(978) 867-70-52
E-mail: k_perepadya@mail.ru

Balashov Michael Georgievich
Sevastopol State University,
Sevastopol
Ph.D., assistant professor of
Department of Ocean Engineering
and Shipbuilding
299053, Sevastopol,
Universitetskaya street, 33
Ph.: 8(978) 838-27-60
E-mail: 79788382760@yandex.ru

Lekarev Gennadiy Viktorovich
Sevastopol State University,
Sevastopol
Ph.D., assistant professor of
Department of Ocean Engineering
and Shipbuilding
299053, Sevastopol,
Universitetskaya street, 33
Ph.: 8(978) 103-80-88
E-mail: glek@yandex.ru

© К.В. Перепадя, М.Г. Балашов, Г.В. Лекарев, 2023

УДК 550.384.31

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-361-5-179-189

М.Г. БАЛАШОВ, Г.В. ЛЕКАРЕВ

РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация. Судостроение и судоремонт относятся к машиностроительной отрасли, поэтому ряд задач, связанных с проектированием и постройкой судов, и объектов океанотехники перекликаются с другими областями машиностроения. В статье рассмотрено использование метода конечных элементов в расчетах на прочность применительно к судовым и иным конструкциям стержневого типа путем формирования системы алгоритмических уравнений и ее реализацией, связанных с формированием матриц параметров, индексов, жесткости, обобщенных сил и напряжений.

Ключевые слова: судно, расчет, метод конечных элементов, судовая рама, судовое перекрытие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бате К.Ю. Методы конечных элементов / К.Ю. Бате. – М.: Физматлит, 2010. – 1024 с.
2. Присекин В.Л. Основы метода конечных элементов в механике деформируемых тел / В.Л. Присекин, Г.И. Расторгуев. Учебник. – Новосибирск: НГТУ, 2010. – 238 с.
3. Постнов В.А. Строительная механика корабля и теория упругости / В.А.Постной, П.П.Суслов: Т.4. – Л.: Судостроение, 1987. – 268 с.
4. Постнов В.А. Численные методы расчета судовых конструкций / В.А. Постнов. – Л.: Судостроение, 1977. – 346 с.

Балашов Михаил Георгиевич
Севастопольский государственный университет, г.
Севастополь
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Океанотехника и кораблестроение»
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Ph.: +7(978) 838-27-60
E-mail: 79788382760@yandex.ru

Лекарев Геннадий Викторович
Севастопольский государственный университет, г.
Севастополь
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Океанотехника и кораблестроение»
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Ph.: +7(978) 103-80-88
E-mail: gvlek59@mail.ru

M.G. BALASHOV, G.V. LEKAREV

CALCULATION OF STRUCTURES BY THE FINITE ELEMENT METHOD

Abstract. Shipbuilding and ship repair belong to the engineering industry, so a number of tasks related to the design and construction of ships and ocean technology objects have something in common with other areas of engineering. The article considers the use of the finite element method in the problems of calculating the strength in relation to ship and other rod-type structures by forming a system of algorithmic equations and its implementation

associated with the formation of matrices of parameters, indices, stiffness, generalized forces and stresses.

Keywords: *ship, calculation, finite element method, ship frame, ship overlap*

BIBLIOGRAPHY

1. Bate K.Yu. Finite element methods / K.Yu. Bate. – М.: Fizmatlit, 2010. – 1024 p.
2. Prisekin V.L. Fundamentals of the finite element method in the mechanics of deformable bodies / V.L. Prisekin, G.I. Rastorguev. Textbook. - Novosibirsk: NGTU, 2010. - 238 p.
3. Postnov V.A. Structural mechanics of the ship and the theory of elasticity / V.A. Postnov, P.P. Suslov: V.4. – L.: Shipbuilding, 1987. – 268 p.
4. Postnov V.A. Numerical methods for calculating ship structures / V.A. Postnov. – L.: Shipbuilding, 1977. – 346 p.

Balashov Michael Georgievich

Sevastopol State University, Sevastopol
Ph.D., assistant professor of Department of Ocean
Engineering and Shipbuilding
299053, Sevastopol, Universitetskaya street, 33
Ph.: +7(978) 838–27–60
E–mail: 79788382760@yandex.ru

Lekarev Gennadiy Viktorovich

Sevastopol State University, Sevastopol
Ph.D., assistant professor of Department of Ocean
Engineering and Shipbuilding
299053, Sevastopol, Universitetskaya street, 33
Ph.: +7(978) 103–80–88
E–mail: gvlek59@mail.ru

© М.Г. Балашов, Г.В. Лекарев, 2023

УДК 621.528.1

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-361-5-190-196

С.И. РОЩУПКИН, Д.С. СОЛНЦЕВА

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ МОРСКИХ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы использования технологии реверс-инжиниринга при проектировании и изготовлении морских беспилотных аппаратов. В качестве примера представлена методология получения трехмерной модели беспилотного аппарата по существующему готовому макету. Подробно рассмотрены этапы, а также даны практические рекомендации по использованию данной методологии.

Ключевые слова. технология, импортозамещение, машиностроение, реверс-инжиниринг, судостроение, моделирование, 3D-сканирование, аддитивные технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. https://dnngwick.blob.core.windows.net/portals/0/NWCDepartments/Russia%20Maritime%20Studies%20Institute/20220731_ENG_RUS_Maritime_Doctrine_FINALtxt.pdf?sv=2017-04-17&sr=b&si=DNNFileManagerPolicy&sig=2zUFSaTUSPcOpQDBk%2FuCtVnb%2FDoy06Cbh0EI5tGpl2Y%3D
2. Петров А. Л. Применение технологии реверс-инжиниринга в судостроении авторства // Л. С. Баева, Н. Е. Петрова, Ж. В. Кумова // Известия высших учебных заведений. Арктический регион. – 2020 – №1 – С. 34-37.
3. Галдин Д. Н. Перепроектирование сложнопрофильных корпусных деталей с применением современных систем геометрического моделирования // А.В. Иванов, О.Б. Тверье // Труды НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко. – 2019. – №35. – С. 173-187.
4. Селищев Д. Н. Автоматизация проектирования на основе реверс-инжиниринга // Сергеев А.И // ШАГ В НАУКУ. – 2019. – №2. – С. 62-64.
5. Агаева Т.А. Применение технологии трехмерного сканирования в области приборостроения // Е. В. Ткачева, А. Д. Шевяков, О. В. Кузнецова // Альманах научных работ молодых ученых университета ИТМО. – 2017. – С. 7-10.

6. Быков В. В. Перспективы применения технологий 3d-сканирования деталей при контроле качества деталей машин // М. И. Голубев // Инновационные технологии в АПК региона: достижения, проблемы, перспективы развития. – 2021. – С. 320-323.
7. Зобов П. Г. Сравнительный анализ сканирования мелкогабаритных судовых изделий машиностроительной части со сложной внутренней конструкцией при помощи различных моделей 3d-сканеров // А.В. Дектярев, В. Н. Морозов // Известия КГТУ. – 2020. – №56. – С. 159.
8. Абрамов Ю. С. Процесс реверс-инжиниринга на координатно-измерительной машине контактного типа // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии. – 2020. – С. 456.
9. Муклецов А. Метод метрологического контроля деталей, изготовленных по аддитивной технологии, с использованием 3d-сканирования // А. М. Золотов, Л. О. Федосова // Мир компьютерных технологий. – 2021. – С. 22-25.
10. Павлов М. В. Решение задач реверс-инжиниринга методами цифровой метрологии и САПР в условиях импортозамещения // А. М. Балланд, А. В. Уколов // 3D технологии в решении научно-практических задач. – 2022. – С. 21-25.
11. Ермаков М. А. Методика реверс-инжиниринга рабочего колеса центробежного насоса // А. В. Тоншина // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2020. – С. 234-236.
12. Тукабайов Б. Н. Применение реверс-инжиниринга для реставрации автомобильной техники // А. Ю. Баринов // Актуальные проблемы автотранспортного комплекса. – 2018. – С. 48-56.
13. Тараховский А. Ю. Трехмерное моделирование объекта на основе данных лазерного 3d сканирования // АПВМ. – 2023. – №14. – С. 16-19.
14. Суворов В. А. Лазерное сканирование поверхности прототипов и моделей летательных аппаратов // М.А. Кирилловский, В.В. Петров, В.А. Изюмова // Дополнение к материалам кимила-2020. – 2021. – С. 29-53.
15. Чернов Р. С. Применение методов реверс-инжиниринга для решения производственных задач в современных реалиях // К. А. Мишкина, Ю. О. Стрелянная // МАиР. – 2022. – №10. – С. 48-51.
16. Вашкарин А. Д. Реализация узла крепления электродвигателя спортивного карта класса kf2 // Е.М. Генсон // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2023. – №1. – С. 5-12.
17. Винниченко А. В. Применимость модели обратного инжиниринга для задач унификации в процессах системного проектирования машиностроительных предприятий // С. А. Назаревич // SCIENCE AND EDUCATION: PROBLEMS AND INNOVATIONS. – 2020. – С. 34-39.

Рощупкин Станислав Иванович
 ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный
 Университет», г. Севастополь
 Кандидат технических наук, доцент кафедры
 «Технология машиностроения»
 299053
 +7 (8692) 41-77-41 добавочный 1150
 E-mail: siroshchupkin@sevsu.ru

Солнцева Дарья Сергеевна
 ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный
 Университет», г. Севастополь
 Магистрант, инженер НИЛ «ЭСЖБО»
 299053
 +7 (8692) 41-77-41 добавочный 1150
 E-mail: dssolntseva@sevsu.ru

S.I. ROSHCHUPKIN, D.S. SOLNTSEVA

APPLICATION OF REVERSE ENGINEERING TECHNOLOGY IN DESIGN AND PRODUCTION OF MARINE UNMANNED VEHICLES

Abstract. *The article discusses the use of reverse engineering technology in the design and manufacture of marine unmanned vehicles. As an example, the methodology for obtaining a three-dimensional model of an unmanned vehicle based on an existing ready-made layout is presented. The stages are considered in detail, as well as practical recommendations on the use of this methodology are given.*

Keywords: *technology, import substitution, mechanical engineering, reverse-engineering, shipbuilding, modeling, 3D scanning, additive technologies.*

BIBLIOGRAPHY

1. https://dnnlgwick.blob.core.windows.net/portals/0/NWCDepartments/Russia%20Maritime%20Studies%20Institute/20220731_ENG_RUS_Maritime_Doctrine_FINALtxt.pdf?sv=2017-04-17&sr=b&si=DNNFileManagerPolicy&sig=2zUFSaTUSPcOpQDBk%2FuCtVnb%2FDoy06Cbh0EI5tGpl2Y%3D
2. Petrov A. L. Primeneniye tekhnologii revers-inzhiniringa v sudostroyenii avtorstva // L. S. Bayeva, N. Ye. Petrova, Zh. V. Kumova // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Arkticheskiy region. – 2020 – №1 – S. 34-37.

3. Galdin D. N. Pereproyektirovaniye slozhnoprofilnykh korpusnykh detaley s primeneniym sovremennykh sistem geometricheskogo modelirovaniya // A.V. Ivanov, O.B. Tverye // Trudy NPO Energomash imeni akademika V.P. Glushko. – 2019. – №35. – S. 173-187.
4. Selishchev D. N. Avtomatizatsiya proyektirovaniya na osnove revers-inzhiniringa // Sergeyev A.I // SHAG V NAUKU. – 2019. – №2. – S. 62-64.
5. Agayeva T.A. Primeneniye tekhnologii trekhmernogo skanirovaniya v oblasti priborostroyeniya // Ye. V. Tkacheva, A. D. Shevyakov, O. V. Kuznetsova // Almanakh nauchnykh rabot molodykh uchenykh universiteta ITMO. – 2017. – S. 7-10.
6. Bykov V. V. Perspektivy primeneniya tekhnologiy 3d-skanirovaniya detaley pri kontrole kachestva detaley mashin // M. I. Golubev // Innovatsionnyye tekhnologii v APK regiona: dostizheniya, problemy, perspektivy razvitiya. – 2021. – S. 320-323.
7. Zobov P. G. Sravnitelnyy analiz skanirovaniya melkogabaritnykh sudovykh izdeliy mashinostroitelnoy chasti so slozhnoy vnutrenney konstruktseyey pri pomoshchi razlichnykh modeley 3d-skanerov // A.V. Dektyarev, V. N. Morozov // Izvestiya KGTU. – 2020. – №56. – S. 159.
8. Abramov YU. S. Protsess revers-inzhiniringa na koordinatno-izmeritelnoy mashine kontaktnogo tipa // Kompyuternaya integratsiya proizvodstva i IPI-tekhnologii. – 2020. – S. 456.
9. Mukletsov A. Metod metrologicheskogo kontrolya detaley, izgotovlennykh po additivnoy tekhnologii, s ispolzovaniyem 3d-skanirovaniya // A. M. Zolotov, L. O. Fedosova // Mir kompyuternykh tekhnologiy. – 2021. – S. 22-25.
10. Pavlov M. V. Resheniye zadach revers-inzhiniringa metodami tsifrovoy metrologii i SAPR v usloviyakh importozameshcheniya // A. M. Balland, A. V. Ukolov // 3D tekhnologii v reshenii nauchno-prakticheskikh zadach. – 2022. – S. 21-25.
11. Yermakov M. A. Metodika revers-inzhiniringa rabocheho koleasa tsentrobezhnogo nasosa // A. V. Tonshina // Aktualnyye problemy aviatsii i kosmonavтики. – 2020. – S. 234-236.
12. Tukabayov B. N. Primeneniye revers-inzhiniringa dlya restavratsii avtomobilnoy tekhniki // A. YU. Barinov // Aktualnyye problemy avtotransportnogo kompleksa. – 2018. – S. 48-56.
13. Tarakhovskiy A. YU. Trekhmernoye modelirovaniye ob"yekta na osnove dannykh lazernogo 3d skanirovaniya // APvM. – 2023. – №14. – S. 16-19.
14. Suvorov V. A. Lazernoye skanirovaniye poverkhnosti prototipov i modeley letatelnykh apparatov // M.A. Kirillovskiy, V.V. Petrov, V.A. Izyumova // Dopolneniye k materialam kimila-2020. – 2021. – S. 29-53.
15. Chernov R. S. Primeneniye metodov revers-inzhiniringa dlya resheniya proizvodstvennykh zadach v sovremennykh realiyakh // K. A. Mishkina, YU. O. Strelyannaya // MAiR. – 2022. – №10. – S. 48-51.
16. Vashkarin A. D. Realizatsiya uzla krepleniya elektrodvigatelya sportivnogo karta klassa kf2 // Ye.M. Genson // Transport. Transportnyye sooruzheniya. Ekologiya. – 2023. – №1. – S. 5-12.
17. Vinnichenko A. V. Primenimost modeli obratnogo inzhiniringa dlya zadach unifikatsii v protsessakh sistemnogo proyektirovaniya mashinostroitelnykh predpriyatiy // S. A. Nazarevich // SCIENCE AND EDUCATION: PROBLEMS AND INNOVATIONS. – 2020. – S. 34-39.

Roshchupkin Stanislav Ivanovich

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Sevastopol State University", Sevastopol
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department
"Mechanical Engineering Technology"
299053
+7 (8692) 41-77-41 extension 1150
E-mail: siroshchupkin@sevsu.ru

Solntseva Daria Sergeevna

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Sevastopol State University", Sevastopol
Masters student, engineer of Research Laboratory "ESZHBO"
299053
+7 (8692) 41-77-41 extension 1150
E-mail: dssolntseva@sevsu.ru

© С.И. Рошупкин, Д.С. Солнцева, 2023

УДК 658.512.011.56

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-361-5-197-203

А.В. НЕМЕНКО, М.М. НИКИТИН

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОГНОЗНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ
ВТОРОГО ПОРЯДКА**

Аннотация. При обработке изделий с прецизионными поверхностями второго порядка оказывается важным не только выдержать геометрическое соответствие между фактической и расчетной поверхностями, но также исключить релаксационные эффекты, происходящие от перераспределения напряжений при обработке. Их фактический учет требует анализа поля напряжений внутри детали, что к настоящему времени требует больших трудозатрат и не может быть реализовано при серийном производстве. В предыдущих работах авторами была показана применимость к поставленной задаче скрытой марковской модели. В настоящей работе рассмотрены вопросы её обучения на массиве исходных данных и получены непосредственные расчетные формулы.

Ключевые слова: механическая обработка, контроль по косвенным параметрам, скрытая марковская модель, марковская последовательность, непрерывное фазовое пространство состояний

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bagg, S. D., Sochalski-Kolbus, L. M., & Bunn, J. R. (2016, June). The effect of laser scan strategy on distortion and residual stresses of arches made with selective laser melting. In American Society of Precision Engineering (ASPE) 2016 Summer Topical Meeting: Dimensional Accuracy and Surface Finish in Additive Manufacturing (No. M16-5377).
2. Берберов С. А., Берберова Н. И., Анисович А. П. Влияние остаточных деформаций на качество шлицевых отверстий в процессе их дорнования твердосплавным инструментом //Перспективные направления развития финишных и виброволновых технологий. – 2022. – С. 54-59.
3. Колмогоров Г. Л., Кузнецова Е. В. Технологические остаточные напряжения после обработки металлов давлением //Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия. – 2016. – Т. 16. – №. 1. – С. 41-45.
4. Deng, J., Peng, X., Hu, H., & Ge, K. (2017, October). Study on combined polishing process of aspherical aluminum mirrors. In *AOPC 2017: Optoelectronics and Micro/Nano-Optics* (Vol. 10460, pp. 60-69). SPIE.
5. D.Malacara. Optical shop testing. JohnWiley&Sons, 2017 - 855 p.
6. Неменко А.В. Оценка изменения структуры материала изделия при его механической обработке /А.В. Неменко, М.М. Никитин//Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2021,№4(348),С. 164-169.
7. Неменко А.В. Непрямые оценки качества поверхностей второго порядка при финишной обработке/А.В. Неменко, М.М. Никитин//Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2023,№4
8. Kobayashi H., Mark B., Turin W. Probability, Random Processes and Statistical Analysis. Cambridge University Press, 2012 – 813 p.
9. Cappe O., Moulines E., Ryden T. Inference in Hidden Markov Models/ Springer, 2005 – 652 p.
10. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий/Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. М.:Наука, 1976. – 278 с.

Неменко Александра Васильевна
ФГАОУ «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Цифровое проектирование»
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. +79788330519
E-mail: valesan@list.ru

Никитин Михаил Михайлович
ФГАОУ «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Старший преподаватель кафедры «Высшая математика»
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. +79788150316
E-mail: m.nikitin.1979@gmail.com

A.V. NEMENKO, M.M. NIKITIN

OPTIMIZATION OF FORECASTING AND TECHNOLOGICAL EVALUATION OF THE FINISHING QUALITY OF SECOND-ORDER SURFACES

Abstract. When processing products with second-order precision surfaces, it is important not only to maintain a geometric correspondence between the actual and calculated surfaces, but also to exclude relaxation effects resulting from the redistribution of stresses during processing. Their actual accounting requires an analysis of the stress field inside the part, which currently requires a lot of labor and cannot be implemented in mass production. In previous works,

the authors have shown the applicability of the hidden Markov model to the problem. In this paper, the issues of its training on an array of initial data are considered and direct calculation formulas are obtained.

Keywords: *machining, control by indirect parameters, hidden Markov model, Markov sequence, continuous phase space of states.*

BIBLIOGRAPHY

1. Bagg, S. D., Sochalski-Kolbus, L. M., & Bunn, J. R. (2016, June). The effect of laser scan strategy on distortion and residual stresses of arches made with selective laser melting. In American Society of Precision Engineering (ASPE) 2016 Summer Topical Meeting: Dimensional Accuracy and Surface Finish in Additive Manufacturing (No. M16-5377).
2. Berberov S. A., Berberova N. I., Anisovich A. P. Vliyaniye ostatochnykh deformatsiy na kachestvo shlitsevykh otverstiy v protsesse ikh dornovaniya tverdospлавным instrumentom //Perspektivnyye napravleniya razvitiya finishnykh i vibrovolnovykh tekhnologiy. – 2022. – S. 54-59.
3. Kolmogorov G. L., Kuznetsova Ye. V. Tekhnologicheskiye ostatochnyye napryazheniya posle obrabotki metallov davleniyem //Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Metallurgiya. – 2016. – T. 16. – №. 1. – S. 41-45.
4. Deng, J., Peng, X., Hu, H., & Ge, K. (2017, October). Study on combined polishing process of aspherical aluminum mirrors. In AOPC 2017: Optoelectronics and Micro/Nano-Optics (Vol. 10460, pp. 60-69). SPIE.
5. D.Malacara. Optical shop testing. JohnWiley&Sons, 2017 - 855 p.
6. Nemenko A.V. Otsenka izmeneniya struktury materiala izdeliya pri yego mekhanicheskoy obrabotke /A.V. Nemenko, M.M. Nikitin//Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii, 2021,№4(348),S. 164-169.
7. Nemenko A.V. Nepryamyye otsenki kachestva poverkhnostey vtorogo poryadka pri finishnoy obrabotke/A.V. Nemenko, M.M. Nikitin//Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii, 2023,№4
8. Kobayashi H., Mark B., Turin W. Probability, Random Processes and Statistical Analysis. Cambridge University Press, 2012 – 813 p.
9. Cappe O., Moulines E., Ryden T. Inference in Hidden Markov Models/ Springer, 2005 – 652 p.
10. Adler YU.P. Planirovaniye eksperimenta pri poiske optimalnykh usloviy/YU.P. Adler, Ye.V. Markova, YU.V. Granovskiy. M.:Nauka, 1976. – 278 s.

Nemenko Alexandra Vasilyevna

FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol
Ph.D. in Tech Science, assistant professor of chair
«Digital Design»
Universitetskaya st, 33, Sevastopol, Russian Federation,
299053
Phone. +79788330519
E-mail: valesan@list.ru

Nikitin Mikhail Mikhailovich

FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol
Senior lecturer of chair «Higher Mathematics »
Universitetskaya st, 33, Sevastopol, Russian Federation,
299053
Phone +79788150316
E-mail: m.nikitin.1979@gmail.com

© А.В. Неменко, М.М. Никитин, 2023

Адрес издателя:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302026, Орловская область, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел. (4862) 75–13–18
<http://oreluniver.ru>
E-mail: info@oreluniver.ru

Адрес редакции:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302030, Орловская область, г. Орел, ул. Московская, 34
+7 (905) 169 88 99

<https://oreluniver.ru/science/journal/fipptt>
E-mail: radsu@rambler.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор Тюхта А.В.
Компьютерная верстка Тюхта А.В.

Подписано в печать 20.10.2023 г.
Дата выхода в свет 08.11.2023 г.
Формат 70X108/16. Усл. печ. л. 12,75
Цена свободная. Тираж 1000 экз.
Заказ №243

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ОГУ имени И.С. Тургенева
302026, Орловская область, г. Орёл, ул. Комсомольская, д. 95