

ISSN 2073-7408

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ
И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

3 (359) 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 редколлегии:

Бухач А. д-р техн. наук, проф. (Польша)

Голенков 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)

Зубчанинов 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)

Мирсалимов 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)

Солдаткин 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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Содержание

Теоретическая механика и ее приложения

Бохонский А.И., Варминская Н.И. Минимальное время оптимального переносного движения упругого объекта..... 3

Механика деформируемого твердого тела, динамика и прочность

Баранов В.Л., Левин А.С. Методы многомерной минимизации целевых функций при анализе изгибного деформирования стержневых упругих элементов амортизаторов..... 8
Поддубный А.А., Гордон В.А. Собственные поперечные колебания балки на упругом основании Пастернака..... 14

Машиностроительные технологии и оборудование

Землянушов Н.А., Дорохов Д.О., Радченко С.Ю., Землянушова Н.Ю. Совершенствование устройства для упрочнения винтовых цилиндрических пружин методом комплексного локального нагружения..... 33
Семин А.С., Тарапанов А.С. Управление лезвийной обработкой цилиндрических колес с круговым зубом на основе комплексного анализа..... 44
Конonenko А.С., Хаббатуллин Р.Р. Исследование адгезии цианакрилатных клеев к различным материалам при бездеформационной фиксации заготовок на металлорежущих станках..... 50
Родичев А.Ю., Горин А.В. Совершенствование процесса применения аддитивной технологии при техническом обслуживании и ремонте машин..... 58
Барсуков Г.В., Шоркин В.С., Фроленкова Л.Ю., Журавлева Т.А., Кожус О.Г., Прасолов Е.А. Исследование твердости абразива с диффузионным слоем карбида кремния для гидроабразивного резания по значениям поверхностной энергии..... 68
Шолом А.В., Абрамов А.Н., Шолом В.Ю., Тюленев Д.Г., Пилиugin С.М. Влияние плотности и вязкости масляных смазочно-охлаждающих жидкостей на их охлаждающие характеристики..... 77
Неменко А.В., Никитин М.М. Оптимизация производственного контроля при формообразовании изделий с параболическими поверхностями вращения..... 84

Машиноведение и мехатроника

Бохонский А.И., Варминская Н.И. Управление движением объектов на роботизированном технологическом участке..... 88
Пахалюк В.И., Поляков А.М. Исследование трибологии поверхности СВМПЭ после напыления оксида графена..... 95
Гюттлер С.М., Поляков А.М., Пахалюк В.И., Бугаев П.А. Изучение износа контактной пары типа сталь/сталь со сферической и плоской поверхностями..... 102
Гориков А.И., Грибанов Е.Н., Марков О.И., Оскотская Э.Р., Родичева И.В. Получение покрытий на основе алюмосиликатов для защиты мехатронных узлов..... 117
Сытин А.В., Власова С.А., Горин А.В., Серебренников А.Д. Применение биморфных упругих элементов для обеспечения минимального износа рабочей поверхности лепестковых подшипников..... 126
Шутин Д.В., Настепанин К.К. Управление сервоклапанами для реализации активной смазки гидростатодинамических подшипников..... 137

Приборы, биотехнические системы и технологии

Гайнуллина Я.Н. Обоснование применения специальных глубоководных систем в обеспечении исследований процессов жидкостного дыхания..... 144
Свириденко И.И., Чулкин А.А., Свириденко Д.И. Обзор современного состояния морских малых скоростных надводных беспилотных аппаратов..... 151
Незнанов А.И., Подмастерьев К.В., Сулов О.А. Схемы обработки сигналов с тензорезистивных датчиков при контроле напряженного состояния рельс..... 164

Контроль, диагностика, испытания и управление качеством

Качанов А.Н., Тимохин В.А., Качанов Н.А. Диагностика электромагнитной обстановки в зоне прокладки кабельной линии в программной среде «Elcut»..... 173
Лукин А.А., Исригова Т.А. Сравнительный анализ рамановской спектроскопии для идентификации микропластика в пищевых системах..... 183
Коваль Н.С., Лебедев В.А., Ширин А.А. Метод контроля гранулометрических характеристик ферромагнитных агрегатов шламовых отходов..... 191

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.ppressa-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.

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:

Bukhach A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Poland)

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)

Kirichuk 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)

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

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

Starovoitov A.I. 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/fipptt>

E-mail: radu@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 Rossii» 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

Theoretical mechanics and its applications

Bokhonsky A.I., Varminskaya N.I. Minimum time of optimum translational movement of elastic object..... 3

Mechanics of deformable solids, dynamics and strength

Baranov V.L., Levin A.S. Methods for multidimensional minimization of objective functions in the analysis of flexible deformation rod elastic elements of shock absorbers 8
Poddubny A.A., Gordon V.A. Natural transverse vibrations of the beam on an elastic Pasternak foundation 14

Machine-building technologies and equipment

Zemlyanushnov N.A., Dorohov D.O., Radchenko S.Y., Zemlyanushnova N.Y. Improvement of device for strengthening helical cylindrical springs by complex local loading method 33
Semin A.S., Tarapanov A.S. Blading control of cylindrical wheels with circular tooth on the basis of complex analysis 44
Kononenko A.S., Khabbatullin R.R. Investigation of adhesion of cyanacrylate adhesives to various materials during deformation-free fixing of workpieces on metal cutting machines 50
Rodichev A.Yu., Gorin A.V. Improving the process of applying additive technology in the maintenance and repair of machines 58
Barsukov G.V., Shorkin V.S., Frolenkova L.Y., Zhuravleva T.A., Kozhus O.G., Prasolov E.A. Investigation of the hardness of an abrasive with a diffusion layer of silicon carbide for waterjet cutting by surface energy values 68
Sholom A.V. Influence of density and viscosity of oil lubricants on their cooling characteristics 77
Nemenko A.V., Nikitin M.M. Optimization of quality tests in surface finishing of parabolic surfaces of revolution 84

Machine Science and Mechatronics

Bokhonsky A.I., Varminskaya N.I. Objects movement control in a robotized technological section 88
Pakhaliuk V.I., Poliakov A.M. Study of the UHMWPE surface tribology after graphene oxide deposition 95
Guettler S.M., Poliakov A.M., Pakhaliuk V.I., Bugayov P.A. Study of wear of contact pair type steel/steel with spherical and flat surfaces 102
Gorshkov A.I., Gribanov E.N., Markov O.I., Oskotskaya E.R. Obtaining coatings based on aluminosilicates to protect mechatronic assemblies 117
Sitin A.V., Vlasova V.S., Gorin A.V., Serebrennikov A.D. Application of bimorphous elastic elements to ensure minimum wear on the working surface of the flap bearings 126
Shutin D.V., Nastepanin K.K. Control of servovalves to implement active lubrication in hybrid fluid film bearings 137

Devices, biotechnical systems and technologies

Gainullina Ya.N. Justification of the use of special deep-sea systems in providing studies of liquid respiration processes 144
Sviridenko I.I., Chuklin A.A., Sviridenko D.I. Review of the current state of small marine high-speed surface unmanned vehicles 151
Neznanov A.I., Podmasteryev K.V., Suslov O.A. Schemes for signal amplification from strain-resistive sensors under control of the strain state of the rail 164

Monitoring, Diagnostics, Testing and Quality Management

Kachanov A.N., Timokhin V.A., Kachanov N.A. Diagnostics of the electromagnetic situation in the zone of cable line laying in the "elcut" software environment 173
Lukin A.A., Isrigova T.A. Comparative analysis of raman spectroscopy for the identification of microplastics in food systems 183
Koval N.S., Lebedev V.A., Shirin A.A. Method for control of granulometric characteristics of ferromagnetic aggregates of sludge waste 191

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).

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

УДК 517.97: 51-74: 621.865.8

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-359-3-3-7

А.И. БОХОНСКИЙ, Н.И. ВАРМИНСКАЯ

МИНИМАЛЬНОЕ ВРЕМЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРЕНОСНОГО ДВИЖЕНИЯ УПРУГОГО ОБЪЕКТА

Аннотация. *Конструирование оптимальных ускорений (управлений) перемещением упругих объектов при заданном времени и расстоянии привело к обоснованию реверсионного принципа оптимальности (РПО), отражающего минимум восстановленного функционала-критерия. Для быстрого перемещения упругого объекта существует такое минимальное время, за которое осуществимо движение из исходного состояния покоя в конечное состояние абсолютного покоя.*

Ключевые слова: *конструируемое управление, переносное и относительное движения, корни моментных соотношений (трансцендентных уравнений), минимальное время движения.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эльсгольц, Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление / Л.Э. Эльсгольц. – СПб.: Лань, 2002. – 424 с.
2. Абдулаев, Н.Д. Теория и методы проектирования оптимальных регуляторов / Н.Д. Абдулаев, Ю.П. Петров. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 240 с.
3. Пантелеев, А.В. Методы оптимизации в примерах и задачах / А.В. Пантелеев, Т.Л. Летова – М.: Высш. шк., 2002. – 544 с.
4. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1981. – 720 с.
5. Воронов, А.А. Теория автоматического управления Ч. II. Теория нелинейных и специальных систем автоматического управления: учеб. пособие для вузов / А.А. Воронов. – М.: Наука, 1992. – 288 с.
6. Бохонский, А.И. Вариационное и реверсионное исчисления в механике: монография / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2012. – 212 с.
7. Бохонский, А.И. Реверсионный принцип оптимальности / А.И. Бохонский. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2016. – 174 с.
8. Бохонский, А.И. Конструирование оптимальных управлений перемещением упругих объектов / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская. – С-Пб.: НИЦ МС, 2020. – 120 с.
9. Бохонский, А.И. Конструирование оптимального управления движения объектов как абсолютно твердых и деформируемых тел / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, А.И. Рыжков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2016. – № 3 (317). – С. 70 – 76.
10. Бохонский, А.И., Оптимальность конструируемых управлений перемещением объектов / А.И. Бохонский, М.М. Майстришин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2017. – № 3 (323). – С. 31 – 38.

Бохонский Александр Иванович
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Профессор, доктор технических наук, профессор кафедры «Цифровое проектирование»
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. 8 (978) 739–39–68
E-mail: bohon.alex@mail.ru

Варминская Наталья Ивановна
Черноморское высшее военно-морское орденов Нахимова и Красной Звезды училище имени П.С. Нахимова, г. Севастополь
Доцент, кандидат технических наук, зав. кафедрой физики и общетехнических дисциплин
299028, г. Севастополь, ул. Дыбенко, д. 1а
Тел. 8 (978) 832–83–44
E-mail: nvarminska@gmail.com

A.I. BOKHONSKY, N.I. VARMINSKAYA

MINIMUM TIME OF OPTIMUM TRANSLATIONAL MOVEMENT OF ELASTIC OBJECT

Abstract. *The design of optimal accelerations (controls) for the movement of elastic objects at a given time and distance led to the substantiation of the reversal optimality principle (RPO), which reflects the minimum of the restored functional-criterion. For the fast movement of an elastic object, there is such a minimum time for which the movement from the initial state of quiescence to the final state of absolute quiescence is feasible.*

Keywords: *constructed control, translational and relative motion, roots of moment relations (transcendental equations), minimum movement time.*

BIBLIOGRAPHY

1. El'sgol'c, L.E. Differencial'nye uravneniya i variacionnoe ischislenie / L.E. El'sgol'c. – SPb.: Lan', 2002. – 424s.
2. Abdulaev, N.D. Teoriya i metody proektirovaniya optimal'nyh regulyatorov / N.D. Abdulaev, YU.P. Petrov. – L.: Energoatomizdat, 1985. – 240 s.
3. Panteleev, A.V. Metody optimizatsii v primerah i zadachah / A.V. Panteleev, T.L. Letova – M.: Vyssh. shk., 2002. – 544 s.
4. Bronshtejn, I.N. Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchashchihsya vuzov / I.N. Bronshtejn, K.A. Semendyaev. – M.: Nauka, 1981. – 720 s.
5. Voronov, A.A. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya CH. II. Teoriya nelinejnyh i special'nyh sistem avtomaticheskogo upravleniya: ucheb. posobie dlya vuzov / A.A. Voronov. – M.: Nauka, 1992. – 288 s.
6. Bokhonsky, A.I. Variacionnoe i reverzionnoe ischisleniya v mekhanike: monografiya / A.I. Bokhonsky, N.I. Varminskaya. – Sevastopol': Izd-vo SevNTU, 2012. – 212 s.
7. Bokhonsky, A.I. Reversionnyj princip optimal'nosti / A.I. Bokhonsky. – M.: Vuzovskij uchebnik: INFRA-M, 2016. – 174 s.
8. Bokhonsky, A.I. Konstruirovanie optimal'nyh upravlenij peremeshcheniem uprugih ob'ektov / A.I. Bokhonsky, N.I. Varminskaya. – S-Pb.: NIC MS, 2020. – 120 s.
9. Bokhonsky, A.I. Konstruirovanie optimal'nogo upravleniya dvizheniya ob'ektov kak absolyutno tverdyh i deformiruemyh tel / A.I. Bokhonsky, N.I. Varminskaya, A.I. Ryzhkov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2016. – № 3 (317). – S. 70 – 76.
10. Bokhonsky, Optimal'nost' konstruiruemyh upravlenij peremeshcheniem ob'ektov / A.I. Bokhonsky, M.M. Majstrishin // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2017. – № 3 (323). – S. 31 – 38.

Bokhonsky Alexander Ivanovich

Sevastopol State University, Sevastopol
Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the
Department of «Digital Design»
299053, Sevastopol, st. Universitetskaya, 33
Tel. 8 (978) 739–39–68
E-mail: bohon.alex@mail.ru

Varminskaya Natalia Ivanovna

Nakhimov Black Sea Higher Naval School, Sevastopol
Associate Professor, Candidate of Technical Sciences,
Head of Physics and General Technical Disciplines
Department
299028, Sevastopol, st. Dybenko, 1a
Tel. 8 (978) 832–83–44
E-mail: nvarminska@gmail.com

© А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, 2023

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА, ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ

УДК 539.3; 624.058.8

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-359-3-8-13

В.Л. БАРАНОВ, А.С. ЛЕВИН

МЕТОДЫ МНОГОМЕРНОЙ МИНИМИЗАЦИИ ЦЕЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ ПРИ АНАЛИЗЕ ИЗГИБНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ СТЕРЖНЕВЫХ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ АМОРТИЗАТОРОВ

Аннотация. *Проводится сравнительный анализ результатов использования различных реализованных в различных программных инструментах численных методов минимизации целевых функций в процессе решения уравнений Эйлера-Бернулли для определения изгибных деформаций консольно закрепленных стержневых упругих элементов амортизаторов. Сопряженными критериями оценки их эффективности являются трудоемкость решения задачи и точность получаемых результатов.*

Ключевые слова: *упругий стержневой элемент, амортизатор, схема приложения внешней нагрузки, изгиб, минимизация.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов, В.Л. Силовые характеристики упругих элементов амортизаторов стрелкового оружия для нескользящей следящей схемы внешнего нагружения / В. Л. Баранов, А. С. Левин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – № 11. – С. 124-129.
2. Лалин, В. В. Изгиб геометрически нелинейного консольного стержня. Решение по теориям Кирхгофа и Коссера – Тимошенко / В. В. Лалин, М. О. Беляев // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – № 1(53). – С. 39-55.
3. Локтев, А. А. Динамический контакт ударника и тонких тел с учетом волновых процессов: специальность 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела»: диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук / Локтев Алексей Алексеевич. – Москва, 2010. – 272 с.
4. Тимошенко, С.П. Механика материалов: Учебник для вузов / С.П. Тимошенко, Дж. Гере // СПб.: Издательство: «Лань», 2002.-672 с.
5. Euler L. Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes sive solutio problematis isoperimetrici latissimo sensu accepti. – Springer Science & Business Media, 1952. – Т.1.
6. Фихтенгольц, Г. М. Основы математического анализа. Том 1 / Г. М. Фихтенгольц. – Санкт-Петербург: Наука, 1968. – 440 с.
7. Byrd, R.H. Trust Region Method Based on Interior Point Techniques for Nonlinear Programming / R.H. Byrd, J.C. Gilbert, J.A. Nocedal// *Mathematical Programming*. – 2000. - Vol. 89. - № 1. - P. 149–185.
8. Conn, A.R. Trust-Region Methods / A.R. Conn, I.M. Gould, P.L.Toint // *Society for Industrial and Applied Mathematics*, 2000 – 959 p.
9. Endres, S.C. A simplicial homology algorithm for Lipschitz optimization / S.C. Endres, C. Sandrock, W.W. Focke // *Journal of Global Optimization* vol. 72, 2018,- P. 181-217.
10. Storn, R. Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces / R. Storn, K. Price // *Journal of Global Optimization* vol.11, 1997, - P. 341-359.

Баранов Виктор Леопольдович
ФГБОУ ВО ТулГУ, г. Тула
д-р техн. наук, профессор кафедры СПВ
300012, г.Тула, пр. Ленина, д.92
E-mail: ivts-spv1411@yandex.ru

Левин Артём Сергеевич
ФГБОУ ВО ТулГУ, г. Тула
аспирант кафедры СПВ
300012, г.Тула, пр. Ленина, д.92
E-mail: ivts-spv1411@yandex.ru

V.L. BARANOV, A.S. LEVIN

METHODS FOR MULTIDIMENSIONAL MINIMIZATION OF OBJECTIVE FUNCTIONS IN THE ANALYSIS OF FLEXIBLE DEFORMATION ROD ELASTIC ELEMENTS OF SHOCK ABSORBERS

Abstract. *A comparative analysis of the results of using various numerical methods implemented in various software tools for minimizing objective functions in the process of solving the Euler-Bernoulli equations to determine the bending deformations of cantilevered rod elastic elements of shock absorbers is carried out. Associated criteria for evaluating their effectiveness are the complexity of solving the problem and the accuracy of the results obtained.*

Keywords: *elastic rod element, shock absorber, external load application scheme, bending, minimization.*

BIBLIOGRAPHY

1. Baranov, V.L. Siloviyе haracteristiki uprugih elementov amortizatorov strelkovogo orujija dlya neslolzashy sledashey shemi vnehnego nagrijeniya / V.L. Baranov, A.S. Levin // *Izvesiya Tulsogo gosudrstvennogo universiteta. Tehnicheskiye nauki*. – 2018. – № 11. – S. 124-129.
2. Lalin V.V. Izgib geometricheski nelineynogo consolnogo stregnja. Resheniye po teoriyam Kirgoff i Crosser-Tymoshenko / V.V. Lalin, M.O. Belyaev // *Injenerno-stroitelniy jurnal*.-2015.- № 1(53) – S. 39-55.
3. Loktev, A.A. Dinamicheskij contactk udarnika i tonkih tel s uchetom volnovih processov: specialnost 01.02.04 «Mechanika deformiruемого tverdogo tela»: dissertacia na soiskaniye uchenoy stepeni doctora fiziko-matematicheskikh nauk / Loktev Aleksey Alekseevish. – Moskva, 2010. – 272 s.
4. Timoshenko, S.P. *Mechanika materialov: Uchebnik dlya vuzov* / S.P. Timoshenko, J. Gere // SPb.: Izdatelstvo «Lan», 2002.-672 s.
5. Euler L. *Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes sive solutio problematis isoperimetrici latissimo sensu accepti*. – Springer Science & Business Media, 1952. – T.1.
6. Fichtengolz, G.M. *Osnovi matematicheskogo analiza. Tom 1* / G.M. Fih tengolc. – SPb.: Nauka, 1968. – 440 s.
7. Byrd, R.H. Trust Region Method Based on Interior Point Techniques for Nonlinear Programming / R.H. Byrd, J.C. Gilbert, J.A. Nocedal// *Mathematical Programming*. – 2000. - Vol. 89. - № 1. - P. 149–185.

8. Conn, A.R. Trust-Region Methods / A.R. Conn, I.M. Gould, P.L.Toint // Society for Industrial and Applied Mathematics, 2000 – 959 p.

9. Endres, S.C. A simplicial homology algorithm for Lipschitz optimization / S.C. Endres, C. Sandrock, W.W. Focke // Journal of Global Optimization vol. 72, 2018,- P. 181-217.

10. Storn, R. Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces / R.Storn, K. Price // Journal of Global Optimization vol.11, 1997, - P. 341-359.

Baranov Viktor Leopoldovich
TSU, Tula
Doctor of Technical Sciences, Professor
300012, Tula, Lenin Ave., 92
E-mail: ivts-spv1411@yandex.ru

Levin Artem Sergeevich
TSU, Tula
postgraduate student
300012, Tula, Lenin Ave., 92
E-mail: ivts-spv1411@yandex.ru

© В.Л. Баранов, А.С. Левин, 2023

УДК 624.072.2

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-359-3-14-32

А.А. ПОДДУБНЫЙ, В.А. ГОРДОН

СОБСТВЕННЫЕ ПОПЕРЕЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ БАЛКИ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ ПАСТЕРНАКА

Аннотация. Представлена математическая модель собственных поперечных колебаний балки Эйлера-Бернулли, полностью опертой на упругое двухпараметрическое основание Пастернака. Методом начальных параметров совместно с векторно-матричным представлением состояний произвольных сечений балки исследуются четыре варианта решений характеристических уравнений собственных колебаний балки, полученных на базе различных гипотез о соотношении искомых собственных частот колебаний балки с жесткостными характеристиками системы «балка-основание». Рассматривается возможность реализации различных вариантов для систем «балка-основание» с пятью каноническими граничными условиями (защемления, шарниры, консоли двух типов и свободные концы). Для всех вариантов определены собственные частоты, как функции параметров Винклера и Пастернака, и соответствующие формы прогибов и изгибающих моментов.

Ключевые слова: балка Бернулли-Эйлера, основание Пастернака, изгибные колебания, собственные частоты колебаний, условные частоты, прогибы, изгибающие моменты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цвей, А.Ю. Балки и плиты на упругом основании. Лекции с примерами расчета по спецкурсу строительной механики: учебное пособие / А.Ю.Цвей. – М.: МАДИ, 2014. – 96 с.
2. Datta, S.C. A critical review on idealization and modeling for interaction among soil-foundation-structure system / S.C. Datta, R. Roy // Computers and Structures, 2002. – 80(2-21). – Pp. 1579-1594.
3. Wang, Y.H. Beams and plates on elastic foundations a review / Y.H. Wang, L.G. Tham, Y.K. Cheung // Progress in structural engineering and materials, 2005. – 7(4). – Pp. 74-182.
4. Tivari, K. Overview of methods of analysis of beams on elastic foundation / K. Tivari, R. Kuppa // Journal of mechanical and civil engineering, 2019. – Vol.11. – issue 5. – Pp. 22-29.
5. Леонтьев, Н.Н. Основы теории балок и плит на деформируемом основании / Н.Н. Леонтьев, А.Н. Леонтьев, Д.Н. Соболев, Н.Н. Анохин: учебное пособие. – М. 1982.
6. Власов, В.З. Балки, плиты и оболочки на упругом основании / В.З. Власов, Н.Н. Леонтьев. – М.: Физматгиз, 1960. – 324 с.
7. Пастернак П.Л. Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. – М.: Госстройиздат, 1954. – 56 с.
8. Elhuni, H. Dynamic response of simply supported beams on two-parameter foundations / H. Elhuni, D. Basu // Proc. of 19- th Intern. conf. on soil mechanics and geotechnical engineering, Seoul, 2017. – Pp.729-743.
9. Li, X. Simplectic eigenvalue analysis method for bending of beams resting on two-parameter elastic foundation / X. Li, F. Xu, Z.Zhang // J. Eng. Mech., 2017. – 143(9): 04017098.
10. Togun, N. Nonlinear vibration of a nanobeam on a Pasternak elastic foundation based on non-local Euler-Bernoulli beam theory / N. Togun, M.Bagdatli // Mathematical and computational applications, 2016. – 21.3. – Pp. 1-19.
11. Obara P. Vibrations and stability of Euler-Bernoulli and Timoshenko beams on two-parameter elastic foundation / Archives of civil engineering. LX, 4, 2014. – Pp. 421-440.
12. Omolofe B. Deflection profile analysis of beams on two-parameter elastic subgrade / Latin American J. of Solids and Structures, 2013. – 10. – Pp. 263-282.

13. Гордон, В.А. Собственные изгибные колебания балки, частично опертой на основание Пастернака / В.А. Гордон, Г.А. Семенова // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*, 2020. – № 1(339). – С. 34-43.

14. Поддубный, А.А. Вариант обратной задачи динамики балки на основании Пастернака. Актуальные проблемы математики, информатики и механики / А.А. Поддубный, В.А. Гордон // *Сб. тр. Междунар. науч. конф. Воронеж, ВГУ, 7-9.12.20: Изд-во «Научно-исследовательские публикации»*, 2021. – С. 1415-1421.

15. Fwa T.F. Use of Pasternak foundation model in concrete pavement analysis / *J. of Transportation engineering*, 1996. – Vol.122. – №4. – Pp. 323-328.

16. Teodoru, I.B. Beam elements on linear variable two-parameter elastic foundation / I.B. Teodoru, V. Musat // *Buletinul Institutului Politehnic din Iasi*, 2008. – Tomul LIV. – Pp. 69-78.

Поддубный Алексей Алексеевич

Белорусский государственный университет
транспорта, г. Гомель
Кандидат физико-математических наук, доцент,
начальник факультета
246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34
E-mail: bsut@bsut.by

Гордон Владимир Александрович

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Доктор технических наук, профессор кафедры
технической физики и математики
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
E-mail: gordon@ostu.ru

A.A. PODDUBNY, V.A. GORDON

NATURAL TRANSVERSE VIBRATIONS OF THE BEAM ON AN ELASTIC PASTERNAK FOUNDATION

Abstract. *A mathematical model of natural transverse vibrations of an Euler-Bernoulli beam, fully supported on an elastic two-parameter Pasternak foundation, is presented. The method of initial parameters, together with the vector-matrix representation of the states of arbitrary sections of the beam, is used to study four options for solving the characteristic equations of the natural vibrations of the beam, obtained on the basis of various hypotheses about the ratio of the desired natural vibration frequencies of the beam with the stiffness characteristics of the «beam-base» system. The possibility of implementing various options for «beam-base» systems with five canonical boundary conditions (pinchings, hinges, cantilevers of two types and free ends). For all options, natural frequencies are determined as functions of the Winkler and Pasternak parameters, and the corresponding forms of deflections and bending moments.*

Keywords: *Bernoulli-Euler beam, Pasternak foundation, bending vibrations, natural vibration frequencies, conditional frequencies, deflections, bending moments.*

BIBLIOGRAPHY

1. Tsvei A.Yu. Beams and slabs on an elastic foundation. Lectures with examples of calculation for the special course of structural mechanics: textbook / A.Yu. Tsvei. – M.: MADI, 2014. – 96 s.
2. Datta, S.C. A critical review on idealization and modeling for interaction among soil-foundation-structure system / S.C. Datta, R. Roy // *Computers and Structures*, 2002. – 80(2-21). – Pp. 1579-1594.
3. Wang, Y.H. Beams and plates on elastic foundations a review / Y.H. Wang, L.G., Tham, Y.K. Cheung // *Progress in structural engineering and materials*, 2005. – 7(4). – Pp. 74-182.
4. Tivari, K. Overview of methods of analysis of beams on elastic foundation / K.Tivari, R.Kuppa // *Journal of mechanical and civil engineering*, 2019. – Vol.11. – issue 5. – Pp. 22-29.
5. Leontiev, N.N. Fundamentals of the theory of beams and plates on a deformable foundation / N.N. Leontiev, A.N. Leontiev, D.N. Sobolev, N.N. Anokhin: textbook. – M, 1982.
6. Vlasov, V.Z. Beams, plates and shells on an elastic foundation / V.Z. Vlasov, N.N. Leontiev M.: Fizmatgiz, 1960. – 324 s.
7. Pasternak P.L. Fundamentals of a new method for calculating foundations on an elastic foundation using two bed coefficients. – M.: Gosstroyizdat, 1954. – 56 s.
8. Elhuni, H. Dynamic response of simply supported beams on two-parameter foundations / H. Elhuni, D. Basu // *Proc. of 19-th Intern. conf. on mechanic soils and geotechnical engineering*, Seoul, 2017. – Pp. 729-743.
9. Li, X. Simplectic eigenvalue analysis method for bending of beams resting on two-parameter elastic foundation / X. Li, F. Xu, Z. Zhang // *J. Eng. Mech*, 2017. – 143(9): 04017098.
10. Togun, N. Nonlinear vibration of a nanobeam on a Pasternak elastic foundation based on non-local Euler-Bernoulli beam theory / N. Togun, M. Bagdatli // *Mathematical and computational applications*, 2016. – 21.3. – Pp. 1-19.
11. Obara P. Vibrations and -Bernoulli and Timoshenko veams on two-parameter elastic foundation /stability of Euler Archives of civil engineering. LX, 4, 2014. – Pp. 421-440.
12. Omolofe B. Deflection profile analysis of beams on two-parameter elastic subgrade / *Latin American J. of Solids and Structures*, 2013. – 10. – Pp. 263-282.

13. Gordon, V.A. Own flexural vibrations of a beam partially supported on the Pasternak base / V.A. Gordon, G.A. Semyonova // Fundamental and applied problems of engineering and technology, 2020. – No. 1(339). – S. 34-43.
14. Poddubny, A.A. Variant of the inverse problem of beam dynamics based on Pasternak. Actual problems of mathematics, informatics and mechanics / A.A. Poddubny, V.A. Gordon. Collection of Proceedings of the International Scientific Conf. Voronezh, Voronezh State University, 7-9.12.20. – Publishing House «Scientific and Research Publications», 2021. – P. 1415-1421.
15. Fwa T.F. Use of Pasternak foundation model in concrete pavement analysis / J. of Transportation engineering, 1996. – Vol.122. – No. 4. – Pp. 323-328.
16. Teodoru, I.B. Beam elements on linear variable two-parameter elastic foundation / I.B. Teodoru, V. Musat // Buletinul Institutului Politehnic din Iasi, 2008. – Tomul LIV. – Pp. 69-78.

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

Gordon Vladimir Alexandrovich
Federal State Budgetary Educational Institution of
Higher Education OSU named after I.S. Turgenev, Orel
Doctor of Technical Sciences, Professor of the
Department technical physics and mathematics
302020 Orel, Naugorskoye highway, 29
E-mail: gordon@ostu.ru

© А.А. Поддубный, В.А. Гордон, 2023

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ **И ОБОРУДОВАНИЕ**

УДК 621.73

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-359-3-33-43

Н.А. ЗЕМЛЯНУШНОВ, Д.О. ДОРОХОВ, С.Ю. РАДЧЕНКО, Н.Ю. ЗЕМЛЯНУШНОВА

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ВИНТОВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРУЖИН МЕТОДОМ КОМПЛЕКСНОГО ЛОКАЛЬНОГО НАГРУЖЕНИЯ

Аннотация. Контактное заневоливание пружин может быть одновременно упрочняющей и формообразующей операцией, что позволяет отнести его к деформированию в условиях комбинированного комплексного локального нагружения очага деформации. Известные устройства для контактного заневоливания не всегда позволяют обеспечить высокую надежность упрочняемых пружин. Предложена конструкция устройства для упрочнения винтовых цилиндрических пружин. Преимущество предложенного устройства заключается в отсутствии повреждения опорных витков при упрочнении. Представлены результаты испытания разработанного устройства. Устройство может быть использовано в технологических процессах изготовления или восстановления пружин.

Ключевые слова: комплексное локальное нагружение, устройство для упрочнения пружин, контактное заневоливание, пластическое упрочнение.

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. Технология изготовления и упрочнения пружин. – Челябинск: Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 2013. – 168 с.
2. Дорохов, Д.О. Управляемое градиентное упрочнение осесимметричных изделий комплексным локальным нагружением очага деформации: дис. докт. техн. наук: 05.02.09. – Оrel: 2018. 283 с.
3. Землянушнова, Н. Ю. Классификация и испытание пружин / Н. Ю. Землянушнова, Ю. М. Тебенко // Вестник машиностроения. – 2002. – № 5. – С. 8-13.
4. Исследование релаксационной стойкости винтовых цилиндрических пружин при длительной выдержке под нагрузкой / В. П. Белогур, В. В. Ворошилин, Г. А. Данилин [и др.] // Металлообработка. – 2014. – № 3(81). – С. 30-351.
5. Лавриненко, Ю. А. Изготовление высоконагруженных пружин сжатия. М.: Инновационное машиностроение, 2017. – 224 с.

6. Лавриненко, Ю. А. Исследование напряженно-деформированного состояния при навивке пружин под воздействием комбинированного нагружения / Ю. А. Лавриненко // Заготовительные производства в машиностроении. – 2017. – Т. 15. – № 9. – С. 399-404.
7. Лавриненко, Ю. А. Разработка методики проектирования технологических процессов изготовления высоконагруженных пружин сжатия / Ю. А. Лавриненко // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2017. – № 9-1. – С. 421-428.
8. Лавриненко Ю. А. Разработка технологии изготовления высоконагруженных пружин сжатия: дис. докт. техн. наук: 05.02.09. – Орёл, 2018. 284 с.
9. Лукин, Л. Л. К выбору технологических схем и параметров ВТМО при производстве винтовых пружин / Л. Л. Лукин, Т. В. Ломаева, Л. М. Редькин // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2007. – № 3(35). – С. 6-9.
10. Патент № 2390667 С1 Российская Федерация, МПК F16F 1/06, B21F 35/00. Устройство для контактного заневоливания пружин: № 2009109521/11: заявл. 16.03.2009: опубл. 27.05.2010 / Ю. М. Тебенко, Н. Ю. Землянушнова, Н. А. Землянушнов.
11. Патент № 2457917 С1 Российская Федерация, МПК B21F 35/00, F16F 1/06. Устройство для контактного заневоливания пружин: № 2011105212/02: заявл. 11.02.2011: опубл. 10.08.2012 / Ю. М. Тебенко, Н. Ю. Землянушнова, Н. А. Землянушнов.
12. Патент № 2481914 С1 Российская Федерация, МПК B21F 35/00, B26F 1/06. Устройство для контактного заневоливания пружин: № 2012107298/02: заявл. 28.02.2012: опубл. 20.05.2013 / Ю. М. Тебенко, Н. Ю. Землянушнова, Н. А. Землянушнов.
13. Патент № 2464119 С1 Российская Федерация, МПК B21F 35/00, C21D 9/02. Способ изготовления высоконагруженных пружин сжатия: № 2011118220/02: заявл. 05.05.2011: опубл. 20.10.2012 / Н. А. Землянушнов, Ю. М. Тебенко, Н. Ю. Землянушнова.
14. Рахштадт, А.Г. Пружинные стали и сплавы. – 3-е изд. перераб. и доп. / А.Г. Рахштадт. – М.: Металлургия, 1982. – 400 с.
15. Тебенко, Ю. М. Применение контактного заневоливания для изготовления пружин откатных механизмов / Ю. М. Тебенко // Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. – 2018. – № 3(139). – С. 16-24.
16. Тебенко, Ю. М. Проблемы производства высокоскоростных пружин и пути их решения. Монография. – Ставрополь: ООО «Мир данных», 2007. – 152 с.
17. Теория и технология валковой штамповки: моногр. / В. А. Голенков, С. Ю. Радченко, Д. О. Дорохов. – М.: Оружие и технологии, 2019. – 396 с.: ил.
18. Lavrinenko, V. Yu. Development of mathematical model of hardening of high loaded compression springs by shot blasting treatment / V. Yu. Lavrinenko, Yu. A. Lavrinenko // Strengthening Technologies and Coatings. – 2018. – Vol. 14. – No 11(167). – P. 508-511.
19. Manouchehrynia R., Abdullah S., Singh S.S.K. Fatigue-based reliability in assessing the failure of an automobile coil spring under random vibration loadings // Engineering Failure Analysis. – 2022. Vol. 131, 105808. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2021.105808.
20. Putra T.E., Ali Husaini N., Machmud M.N., Bakhtiar A., Hendrayana. Analysis of surface failure of coil spring in passenger vehicle suspension system, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 523 (2019) 012072. DOI: 10.1088/1757-899X/523/1/012072.

Землянушнов Никита Андреевич

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь
Старший преподаватель кафедры технологии машиностроения и технологического оборудования
355017, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1
Тел.: 8-928-315-50-04
E-mail: nikita3535@mail.ru

Радченко Сергей Юрьевич

ФГАОУ 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

Дорохов Даниил Олегович

ФГАОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», г. Орёл
Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры машиностроения
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: 8-910-208-44-02
E-mail: ddostu@mail.ru

Землянушнова Надежда Юрьевна

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь
Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии машиностроения и технологического оборудования
355017, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1
Тел.: 8-928-300-49-38
E-mail: zemlyanushnova@rambler.ru

N.A. ZEMLYANUSHNOV, D.O. DOROHOV, S.Y. RADCHENKO, N.Y. ZEMLYANUSHNOVA

IMPROVEMENT OF DEVICE FOR STRENGTHENING HELICAL CYLINDRICAL SPRINGS BY COMPLEX LOCAL LOADING METHOD

Abstract. Springs contact hardening can be both a strengthening and shaping operation, which allows it to be attributed to deformation under conditions of deformation focus combined complex local loading. Well-known devices for contact hardening do not always allow for high reliability of hardened springs. The design of device for strengthening helical cylindrical springs is proposed. The advantage of proposed device is the absence of damage to support coils during hardening. The test results of developed device are presented. The device can be used in technological processes of manufacturing or restoring springs.

Keywords: complex local loading, device for strengthening springs, contact hardening, plastic hardening.

BIBLIOGRAPHY

1. Belkov E. G. Technology of manufacturing and hardening of springs. – Chelyabinsk: South Ural State University (National Research University), 2013. – 168 p.
2. Dorohov, D.O. Controlled gradient hardening of axisymmetric products by complex local loading of the deformation focus: dis. doct. technical sciences: 05.02.09. – Orel: 2018. 283 p.
3. Zemlyanushnova, N. Y. Classification and testing of springs / N. Y. Zemlyanushnova, Y. M. Tebenko // Bulletin of Mechanical Engineering. - 2002. – No. 5. – pp. 8-13.
4. Investigation of relaxation resistance of helical cylindrical springs under prolonged exposure under load / V. P. Belogur, V. V. Voroshilin, G. A. Danilin [et al.] // Metalloobrabotka. – 2014. – No. 3(81). – pp. 30-351.
5. Lavrinenko, Yu. A. Manufacture of high-loaded compression springs. Moscow: Innovative mechanical engineering, 2017. - 224 p.
6. Lavrinenko, Yu. A. Investigation of the stress-strain state when winding springs under the influence of combined loading / Yu. A. Lavrinenko // Procurement production in mechanical engineering. – 2017. – Vol. 15. – No. 9. – pp. 399-404.
7. Lavrinenko, Yu. A. Development of a methodology for designing technological processes for manufacturing high-loaded compression springs / Yu. A. Lavrinenko // Proceedings of Tula State University. Technical sciences. – 2017. – No. 9-1. – pp. 421-428.
8. Lavrinenko Yu. A. Development of manufacturing technology for highly loaded compression springs: Doctor of Technical Sciences dissertation: 05.02.09. – Orel, 2018. 284 p.
9. Lukin, L. L. To the choice of technological schemes and parameters of TMO in the production of screw springs / L. L. Lukin, T. V. Lomaeva, L. M. Redkin // Bulletin of Izhevsk State Technical University. – 2007. – No. 3(35). – pp. 6-9.
10. Patent No. 2390667 C1 Russian Federation, IPC F16F 1/06, B21F 35/00. A device for contact spring drilling: No. 2009109521/11: application 16.03.2009: publ. 27.05.2010 / Yu. M. Tebenko, N. Yu. Zemlyanushnova, N. A. Zemlyanushnov.
11. Patent No. 2457917 C1 Russian Federation, IPC B21F 35/00, F16F 1/06. A device for contact spring drilling: No. 2011105212/02: application 11.02.2011: publ. 10.08.2012 / Yu. M. Tebenko, N. Yu. Zemlyanushnova, N. A. Zemlyanushnov.
12. Patent No. 2481914 C1 Russian Federation, IPC B 21 F35/00, B26F 1/06. A device for contact spring drilling: No. 2012107298/02: application 28.02.2012: publ. 20.05.2013 / Yu. M. Tebenko, N. Yu. Zemlyanushnova, N. A. Zemlyanushnov.
13. Patent No. 2464119 C1 Russian Federation, IPC B21F 35/00, C21D 9/02. Method of manufacturing high-loaded compression springs: No. 2011118220/02: application 05.05.2011: publ. 20.10.2012 / N. A. Zemlyanushnov, Yu. M. Tebenko, N. Yu. Zemlyanushnova.
14. Rachstadt, A.G. Spring steels and alloys. – 3rd ed. reprint. and additional / A.G. Rakhshadt. – Moscow: Metallurgy, 1982. – 400 p.
15. Tebenko, Yu. M. The use of contact drilling for the manufacture of springs of sliding mechanisms / Yu. M. Tebenko // Defense complex - scientific and technical progress of Russia. – 2018. – No. 3(139). – pp. 16-24.
16. Tebenko, Yu. M. Problems of production of high-speed springs and ways to solve them. Monograph. – Stavropol: LLC "World of Data", 2007. – 152 p.
17. Theory and technology of roll stamping: monograph / V. A. Golenkov, S. Y. Radchenko, D. O. Dorokhov. - M.: Weapons and technology, 2019. - 396 p.
18. Lavrinenko, V. Yu. Development of mathematical model of hardening of high loaded compression srpings by shot blasting treatment / V. Yu. Lavrinenko, Yu. A. Lavrinenko // Strengthening Technologies and Coatings. – 2018. – Vol. 14. – No. 11(167). – pp. 508-511.
19. Manouchehrynia R., Abdullah S., Singh S.S.K. Fatigue-based reliability in assessing the failure of an automobile coil spring under random vibration loadings // Engineering Failure Analysis. – 2022. Vol. 131, 105808. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2021.105808.
20. Putra T.E., Ali Husaini N., Machmud M.N., Bakhtiar A., Hendrayana. Analysis of surface failure of coil spring in passenger vehicle suspension system, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 523 (2019) 012072. DOI: 10.1088/1757-899X/523/1/012072.

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

Dorohov Daniil Olegovich

Orel State University named after I.S. Turgenev
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Professor of the Department of Mechanical Engineering
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29

Phone number: 8-928-315-50-04
E-mail: nikita3535@mail.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
Phone number: 8-905-169-88-99
E-mail: radsu@rambler.ru

Phone number: 8-910-208-44-02
E-mail: ddostu@mail.ru

Zemlyanushnova Nadezhda Yurievna
North-Caucasus Federal University,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Mechanical Engineering
Technology and Technological Equipment
355017, Russia, Stavropol, Pushkin str., 1
Phone number: 8-928-300-49-38
E-mail: zemlyanushnova@rambler.ru

© Н.А. Землянушнов, Д.О. Дорохов, С.Ю. Радченко, Н.Ю. Землянушнова, 2023

УДК 621.9

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-359-3-44-49

А.С. СЕМИН, А.С. ТАРАПАНОВ

УПРАВЛЕНИЕ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС С КРУГОВЫМ ЗУБОМ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА

***Аннотация.** Статья посвящена проектированию метода управления лезвийной обработки цилиндрических колес. Установлено, что учитывая трудоемкость формообразования, целесообразно использовать виртуальные модели и комплексный метод анализа и управления лезвийной обработки. Использование современных технологий и методов позволило создать модель с различными уровнями анализа и визуализировать связи между элементами системы, что в перспективе делает возможным прогнозирование точности и силы резания при обработке цилиндрических колес с круговым зубом.*

***Ключевые слова:** круговой зуб, цилиндрические зубчатые колеса, перемещение профиля, математическое отображение, виртуальное представление процесса обработки, структурный анализ, параметры управления.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маликов А. А., Сидоркин А.В. Шевингование прикатывание цилиндрических колес с круговыми зубьями // «Известия Тульского государственного университета. Технические науки», 2008
2. Ямников А.С., Маликов А. А., Сидоркин А.В. Шевингование прикатывание цилиндрических колес с круговыми зубьями // «Машиностроение и инженерное образование», №3, 2011
3. Ivan Okorn, Marko Nagode, Jernej Klemenc. Эксплуатационные характеристики наружных невольвентных прямозубых и косозубых колес: обзор. // University of Ljubljana, Slovenia, «Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering» №5, 2021
4. Qi Zhang, Li Hou, Rui Tang, Guang Wen. Методика обработки и анализа зацепления и контакта круговых зубьев цилиндрических зубчатых колес // «TRANSACTIONS OF FAMENA XL-4», 2016
5. Wei Yongqiao, Yang Shuhong, Zhang Qi, Wang Yulin, Hou Li. Численный анализ изотермической упругогидродинамической смазки цилиндрических зубчатых колес с круговым зубом // «TRANSACTIONS OF FAMENA XLII-1», 2018
6. Yongqiao Wei, Rui Guo, Yongping Liu, Changbin Dong, Dawei Li, Anran Wan, Gang Zhao. Аналитический расчет контактного напряжения на поверхности зуба цилиндрических колес с круговым зубом // «Symmetry», №12, 2020
7. Селиванов С. Г., Шайхулова А. Ф. Системотехническое моделирование и управление проектами технического перевооружения производства в машиностроении // «Вестник УГАТУ» №2, 2014
8. Тарапанов А.С. Разработка метода комплексного анализа параметров процессов и управление лезвийной обработкой конструкционных материалов [текст]: автореферат доктор техн. наук/ Тарапанов А.С. Брянск, 2002
9. Виноградов А.Н., Липатов СИ., Марголит Р.Б. Точность нарезания колес с арочными зубьями // «Технология машиностроения», № 9, 2013
10. Макалова О.А., Рубин П.С. Оборудование и инструмент для изготовления колес с арочными зубьями/ О.А. Макалова, П.С. Рубин// Научно- технический журнал: Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии- №3-3(293), 2012

Семи́н Александр Сергеевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Студент магистратуры
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29

Тарапанов Александр Сергеевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Доктор технических наук, профессор
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29

A.S. SEMIN, A.S. TARAPANOV

BLADING CONTROL OF CYLINDRICAL WHEELS WITH CIRCULAR TOOTH ON THE BASIS OF COMPLEX ANALYSIS

Abstract. *The article is devoted to the design of a control method for blade processing of cylindrical wheels. It has been established that, given the complexity of shaping, it is advisable to use virtual models and a comprehensive method for analyzing and managing blade processing. The use of modern technologies and methods made it possible to create a model with different levels of analysis and visualize the relationships between the elements of the system, which in the future makes it possible to predict the accuracy and cutting force when machining cylindrical wheels with a circular tooth.*

Keywords: *circular tooth, spur gears, profile movement, mathematical display, virtual representation of the machining process, structural analysis, control parameters.*

BIBLIOGRAPHY

1. Malikov A. A., Sidorkin A.V. Shaving rolling of cylindrical wheels with circular teeth // «Izvestia of the Tula State University. Technical science», 2008
2. Yamnikov A.S., Malikov A. A., Sidorkin A.V. Shaving rolling of cylindrical wheels with circular teeth // «Mechanical Engineering and Engineering Education», №3, 2011
3. Ivan Okorn, Marko Nagode, Jernej Klemenc. Operating Performance of External Non-Involute Spur and Helical Gears: A Review // University of Ljubljana, Slovenia, «Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering» №5, 2021
4. Qi Zhang, Li Hou, Rui Tang, Guang Wen. Method of processing and an analysis of meshing and contact of circular arc tooth trace cylindrical gears // «TRANSACTIONS OF FAMENA XL-4», 2016
5. Wei Yongqiao, Yang Shuhong, Zhang Qi, Wang Yulin, Hou Li. Numerical analysis of isothermal elastohydrodynamic lubrication of cylindrical gears with variable hyperbolic circular arc and tooth trace // «TRANSACTIONS OF FAMENA XLII-1», 2018
6. Yongqiao Wei, Rui Guo, Yongping Liu, Changbin Dong, Dawei Li, Anran Wan, Gang Zhao. Analytical calculation of the tooth surface contact stress of cylindrical gear with variable hyperbolic circular-arc-tooth-trace // «Symmetry», №12, 2020
7. Selivanov S. G., Shaiulova A. F. System engineering modeling and project management for the technical re-equipment of production in mechanical engineering // «Vestnik UGATU» №2, 2014
8. Tarapanov A.S. Development of a method for complex analysis of process parameters and control of blade processing of structural materials [text]: abstract doctor of technical sciences/ Tarapanov A.S. Bryansk, 2002
9. Vinogradov A. N., Lipatov S.I., Margolit R. B. Precision of cutting wheels with arched teeth // "Technology of mechanical engineering", no. 9, 2013. Pp. 23-27
10. Makalova O. A., Rubin P. S. Equipment and tools for the manufacture of wheels with arched teeth/ O. A. Makalova, P. S. Rubin // Scientific and technical journal: Fundamental and applied problems of engineering and technology - №3-3(293), 2012

Semin Aleksandr Sergeevich
Orel State University,
Graduate student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: magusorel@yandex.ru

Tarapanov Aleksandr Sergeevich
Orel State University,
Doctor of Technical Sciences, Professor
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: tarapanov@rambler.ru

© A.C. Семин, A.C. Тарапанов, 2023

УДК 621.792

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-359-3-50-57

A.C. КОНОНЕНКО, P.P. ХАББАТУЛЛИН

**ИССЛЕДОВАНИЕ АДГЕЗИИ ЦИАНАКРИЛАТНЫХ КЛЕЁВ
К РАЗЛИЧНЫМ МАТЕРИАЛАМ ПРИ БЕЗДЕФОРМАЦИОННОЙ
ФИКСАЦИИ ЗАГОТОВОК НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ**

Аннотация. Рассмотрена возможность бездеформационной фиксации заготовок на металлорежущих станках с помощью полимерных композиций. Проведен анализ теорий адгезии. Приведена методика исследования адгезии полимерных составов к стали, конструкционным пластикам, алюминиевым и медным сплавам по нормальным разрушающим напряжениям. Представлены результаты исследования адгезионной прочности и проведен анализ характера разрушения полимерного слоя.

Ключевые слова: Цианакрилатный полимер, адгезия, нанокomпозиция, наноразмерные порошки, бездеформационная фиксация.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полтавец О.Ф., Зимин В.В., Диланян К.Р. Пути повышения точности обработки корпусных деталей на многоцелевых станках. Обзор. С-3. Технология и автоматизация производства. М.: ЦНИИТЭИавтосельхозмаш. 1990. 90 с.
2. Васильев А.С. Суммарная погрешность обработки и взаимное влияние ее составляющих // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 1999. № 2-3. С. 89-96.
3. Кононенко, А. С. Теоретическое обоснование условия применимости способа бездеформационной фиксации заготовок с помощью полимерного клея при механической обработке на фрезерных станках с ЧПУ / А. С. Кононенко, Р. Р. Хаббатуллин // Клеи. Герметики. Технологии. – 2021. – № 12. – С. 20-26.
4. Хаббатуллин, Р. Р. Исследование влияния размера наночастиц на прочность полимерного состава / Р. Р. Хаббатуллин, А. С. Кононенко // МашТех 2022. Инновационные технологии, оборудование и материальные заготовки в машиностроении: сборник трудов Международной научно-технической конференции, Москва, 24–26 мая 2022 года. – Москва: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2022. – С. 258-261.
5. Берлин А.А., Басин В.Е. Основы адгезии полимеров. – М.: Химия, 1969 – 320 с.
6. Гвоздев, А.А. Повышение ресурса узлов трансмиссии автомобилей КамАЗ. Ил № 103-94 / / А.А. Гвоздев. - Иваново: ЦНТИ, 1994. - 4 с.
7. Ковачич, Л. Склеивание металлов и пластмасс / Л. Ковачич, под ред. А.С. Фрейдина.-М.: Химия, 1985.- 240 с.
8. Ковачич, Л. Склеивание металлов и пластмасс: пер. со словац. / Л. Ковачич. - М : Химия, 1985. - 240 с.
9. Кардашов, Д. А. Синтетические клеи. Изд. 3-е, перераб. и доп. / Д.А. Кардашов. - М.: Химия, 1976. - 504 с.
10. Хрулев, В.М. Прогнозирование долговечности клеевых соединений деревянных конструкций. - М.: Стройиздат, 1981. - 128с.
11. Притыкин, Л.Н. Клеи и их применение в электротехнике / Л.Н. Притыкин, М.Г. Драновский, Х.Р. Поркмяян. - М.: Энергоиздат, 1983. - 136с.
12. Фрейдин, А.С. Полимерные водные клеи. - М.: Химия, 1985. -144с.
13. Журков, С.Н. Кинетическая концепция прочности // Вестник АН СССР. - 1968.- №3.- С.46-49.
14. Журков, С.Н. Физические основы прогнозирования механического разрушения [Текст] / С.Н. Журков, В.С. Куксенко, В.А. Петров // ДАН СССР. -1981. -Т.259. - №6. - С.1350-1353.
15. Веселовский, Р.А. Влияние свойств граничных слоев реактопластов на адгезионную прочность клеевых соединений / Р.А. Веселовский, А.Ю. Филипович // Механика композиционных материалов. - 1986. - № 6. - С.1003-1006.
16. Кононенко, А. С. Определение оптимального состава цианакрилатной нанокomпозиции для бездеформационной фиксации заготовок на фрезерных станках с ЧПУ / А. С. Кононенко, Р. Р. Хаббатуллин, М. А. Сережкин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2021. – № 4. – С. 34-39.
17. Кононенко, А. С. Анализ теорий адгезии для ремонтных полимерных составов в техническом сервисе транспортных средств / А. С. Кононенко, Р. Р. Хаббатуллин // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте: сборник статей международной научно-практической конференции, Липецк, 20–21 апреля 2022 года / – Липецк: ЛГТУ, 2022. – С. 279-282.
18. Кононенко А.С. Стойкость к старению и вибрационным нагрузкам полимерного композиционного материала на основе анаэробного герметика «АН-111» / А.С. Кононенко, Д.Н. Псарев, А.Б. Рожнов. // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". 2019. № 5 (93). С. 4-8.
19. Кононенко, А.С. Особенности восстановления шпиндельных валов металлорежущих станков полимерными материалами и нанокomпозициями на их основе / Кононенко А.С., Кильдеев Т.А., Соловьева А.А. Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2018. № 10. С. 3-8.

Кононенко Александр Сергеевич
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва
доктор технических наук, профессор кафедры
«Технологии обработки материалов»
105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
Тел. 8 (926) 147-17-50
E-mail: as-kononenko@yandex.ru

Хаббатуллин Роман Радикович
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва
аспирант кафедры «Технологии обработки
материалов»
105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
Тел. 8 (964) 530-67-38
E-mail: khabbatullin.roman@yandex.ru

INVESTIGATION OF ADHESION OF CYANACRYLATE ADHESIVES TO VARIOUS MATERIALS DURING DEFORMATION-FREE FIXING OF WORKPIECES ON METAL CUTTING MACHINES

Abstract. *The possibility of deformation-free fixation of workpieces on metal-cutting machines using polymer compositions is excluded. The analysis of adhesion theories is carried on. A technique for studying the adhesion of polymer compositions to steel, aluminum, copper alloy, structural plastics by normal gradual stress is given. The results of a study of adhesive strength are presented and an analysis of the nature of the destruction of the polymer layer is carried out.*

Keywords: *Cyanoacrylate polymer, adhesion, nanocomposite, nanopowders, deformation-free fixation.*

BIBLIOGRAPHY

1. Poltavets O.F., Zimin V.V., Dilanyan K.R. Puti povysheniya tochnosti obrabotki korpusnyh detalej na mnogocelevykh stankah [Ways to improve the accuracy of processing body parts on multi-purpose machines]. Review. C-3. Tekhnologiya i avtomatizatsiya proizvodstva. Moscow: TsNIITEIavtosekhoz mash. 1990. 90 p.
2. Vasiliev A.S. Summarnaya pogreshnost' obrabotki i vzaimnoe vliyaniye ee sostavlyayushchih [Total processing error and the mutual influence of its components]. Izvestiya vysshih uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie. 1999. No. 2-3. pp. 89-96.
3. Kononenko, A.S. Teoreticheskoe obosnovaniye usloviya primenimosti sposoba bezdeformatsionnoy fiksatsii zagotovok s pomoshch'yu polimernogo kleya pri mekhanicheskoy obrabotke na frezernykh stankah s CHPU [Theoretical substantiation of the applicability conditions for the method of deformation-free fixation of workpieces using polymer glue during machining on CNC milling machines] / A.S. Kononenko, R.R. Khabbatullin // Klei. Germetiki. Tekhnologii. - 2021. - No. 12. - S. 20-26.
4. Khabbatullin, R. R. Issledovaniye vliyaniya razmera nanochastich na prochnost' polimernogo sostava [Study of the effect of nanoparticle size on the strength of the polymer composition] / R. R. Khabbatullin, A. S. Kononenko // MashTekh 2022. Innovatsionnyye tekhnologii, oborudovaniye i material'nye zagotovki v mashinostroyeni: sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Moscow, May 24-26, 2022. - Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2022. - S. 258-261.
5. Berlin A.A., Basin V.E. Osnovy adgezii polimerov [Fundamentals of polymer adhesion]. - M.: Himiya, 1969 - 320 p.
6. Gvozdev, A.A. Povysheniye resursa uzlov transmisiy avtomobiley KamAZ [Increasing the resource of transmission units of KamAZ vehicles]. IL No. 103-94 // A.A. Gvozdev. - Ivanovo: CNTI, 1994. - 4 p.
7. Kovacic, L. Skleivaniye metallov i plastmass [Bonding of metals and plastics] / L. Kovacic, ed. A.C. Freidina. - M.: Himiya, 1985. - 240 p.
8. Kovachich, L. Skleivaniye metallov i plastmass: per. so slovac. [Bonding of materials and plastics: translation from Slovak] / L. Kovacic. - M.: Himiya, 1985. - 240 p.
9. Kardashov, D. A. Sinteticheskie klei. Izd. 3-e, pererab. i dop. [Synthetic adhesives. Ed. 3rd, revised. and additional] / D. A. Kardashov. - M.: Himiya, 1976. - 504 p.
10. Khrulev, V.M. Prognozirovaniye dolgovechnosti kleyevykh soedineniy derevyannykh konstruktsiy [Forecasting the durability of adhesive joints of wooden structures]. - M.: Stroyizdat, 1981. - 128s.
11. Pritykin, L.N. Klei i ih primeneniye v elektrotekhnike [Adhesives and their application in electrical engineering] / L.N. Pritykin, M.G. Dranovskiy, H.R. Porkmeyer. - M.: Energoizdat, 1983. - 136s.
12. Freidin, A.S. Polimernyye vodnyye klei [Polymer water-based adhesives]. - M.: Himiya, 1985. - 144p.
13. Zhurkov, S.N. Kineticheskaya koncepciya prochnosti [Kinetic concept of strength] // Vestnik AN SSSR. - 1968. - No. 3. - P.46-49.
14. Zhurkov, S.N. Fizicheskie osnovy prognozirovaniya mekhanicheskogo razrusheniya [Physical foundations for predicting mechanical failure] [Text] / S.N. Zhurkov, B.C. Kuksenko, V.A. Petrov // DAN SSSR. -1981. -T.259. - No. 6. - S.1350-1353.
15. Veselovsky, R.A. Vliyaniye svoystv granichnykh sloev reaktoplastov na adgezionnyuyu prochnost' kleyevykh soedineniy [Influence of properties of boundary layers of thermosets on the adhesive strength of adhesive joints] / R.A. Veselovsky, A.Yu. Filipovich // Mekhanika kompozitsionnykh materialov. - 1986. - No. 6. - S.1003-1006.
16. Kononenko, A. S., Khabbatullin, R. R., and Serezhkin, M. A. Opredeleniye optimal'nogo sostava tsianakrilatnoy nanokompozitsii dlya bezdeformatsionnoy fiksatsii zagotovok na frezernykh stankah s CHPU [Determination of the optimal composition of the cyanoacrylate nanocomposition for deformation-free fixing of workpieces on CNC milling machines], Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya. - 2021. - No. 4. - P. 34-39.
17. Kononenko, A. S. Analiz teorii adgezii dlya remontnykh polimernykh sostavov v tekhnicheskoy servise transportnykh sredstv [Analysis of adhesion theories for repair polymer compositions in the technical service of vehicles] / A. S. Kononenko, R. R. Khabbatullin // Infokommunikatsionnyye i intellektual'nyye tekhnologii na transporte: sbornik statej mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Lipetsk, April 20-21, 2022 / - Lipetsk: LGTU, 2022. - P. 279-282.
18. Kononenko A.S. Stojkost' k stareniyu i vibratsionnym nagruzkam polimernogo kompozitsionnogo materiala na osnove anaerobnogo germetika «AN-111» [Resistance to aging and vibration loads of a polymer composite material based on anaerobic sealant "AN-111"] / A.S. Kononenko, D.N. Psarev, A.B. Rozhnov. // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina". 2019. No. 5 (93). pp. 4-8.
19. Kononenko A.S. Osobennosti vosstanovleniya shpindel'nykh valov metallorazreshchikh stankov polimernymi materialami i nanokompozitsiyami na ih osnove [Features of the restoration of spindle shafts of metal-cutting machine

tools with polymeric materials and nanocompositions based on them] / Kononenko A.S., Kildeev T.A., Solovieva A.A. Remont. Vosstanovlenie. Modernizaciya. 2018. No. 10. P. 3-8.

Kononenko Alexander Sergeevich

Bauman Moscow State Technical University, Moscow
Doctor of Science, Professor of «Materials Processing Technologies» department
105005, Moscow, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1
Tel. 8 (926) 147-17-50
E-mail: as-kononenko@yandex.ru

Khabbatullin Roman Radikovich

Bauman Moscow State Technical University, Moscow
Postgraduate student of «Materials Processing Technologies» department
105005, Moscow, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1
Tel. 8 (964) 530-67-38
E-mail: khabbatullin.roman@yandex.ru

© А.С. Кононенко, Р.Р. Хаббатуллин, 2023

УДК 62-932.4

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-359-3-58-67

А.Ю. РОДИЧЕВ, А.В. ГОРИН

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРИМЕНЕНИЯ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ И РЕМОНТЕ МАШИН

Аннотация. В статье представлено исследование параметров 3D печати на точность и качество изготовленных изделий. Были проанализированы возможные способы и рассмотрены оптимальные пути их решения, в результате чего выделены два наиболее актуальных дефекта, возникшие при 3D печати. Для устранения этих дефектов была произведена модернизация аппаратной и программной части базового 3D принтера. После чего были проведены тестовые эксперименты, которые подтвердили правильность принятых решений.

Ключевые слова: 3D печать, точность, аддитивные технологии, качество поверхности, параметры печати, настройки, изготовление.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зленко М.А. Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении // пособие для инженеров. М. ГИЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. 220 с.
2. История и технологии трехмерной печати / Н.В. Кушнир, А.В. Кушнир, А.М. Геращенко, А.В. Тыртышный // Научные труды КубГТУ. Краснодар: №5. 2015.
3. Технологии 3D печати [Текст] / М.Н. Лысыч, Р.А. Белинченко, А.А. Шкильный // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. –Т. 2. № 4–3 (9–3). – С. 215–219.
4. Что такое технология FDM? [Электронный ресурс] /URL: <http://3dp.su/chto-takoe-texnologiya-fdm>
5. Layer Object Manufacturing, LOM [Электронный ресурс] / URL: <http://3dp.su/layer-object-manufacturing-lom>
6. Новости 3D-печати и 3D-сканирования. URL: <http://3ddaily.ru>
7. Применение 3D-принтеров в машиностроении. URL: <http://www.printcad.ru/primeneniya-3d-printerov/mashinostroenie.html>.
8. Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук. URL: <http://www.proceedings.spiras.nw.ru/data/src/2010/15/00/spy>.
9. Технологии 3D-печати. Принципы, возможности, расходные материалы, цены // URL: http://www.ixbt.com/printer/3d/3d_tech.shtml.
10. Энциклопедия 3D-печати. URL: <http://3dtoday.ru/wiki>.
11. 3D-печать, литье, мехобработка ЧПУ, лазерная резка. URL: <http://www.3dprintspb.com>.
12. 3D-принтеры. URL: <http://www.3dnews.ru/peripheral/3d-print/print>.
13. Barnatt C. 3D-Printing: Second Edition / CreateSpace Independent Publishing Platform. 2014. 306 p.
14. Barnatt C. 3D-Printing: The Next Industrial Revolution / Barnatt C. - ExplainingTheFuture.com.2013.276p.
15. Evans B. Practical 3D-Printers: The Science and Art of 3DPrinting/ Evans B. – Apress. 2013. 332 p.
16. Библиотека анализа моделей для 3D-печати, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://edu.ascon.ru/main/competition/gallery/items/?bm_id=65174
17. Козлов, А. С. Методика улучшения качества печати 3d принтеров / А. С. Козлов, Е. Л. Файн // Молодые ученые - развитию текстильно-промышленного кластера (ПОЙСК). – 2017. – № 2. – С. 274-276. – EDN ZDFYYN.
18. Козлов, А. С. Методика улучшения качества печати 3d принтеров путем настройки параметров программ слайсеров / А. С. Козлов, Е. Л. Файн // Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы (ПОЙСК). – 2018. – № 1. – С. 145-146. – EDN XPLIUP.

19. Колесников, А. А. Ситуационное управление обеспечением качества изготовления изделий по технологии печати на 3d принтере на основе технологии FDM / А. А. Колесников // Техника и технология: новые перспективы развития. – 2014. – № XII. – С. 77-79. – EDN RXCJIZ.

20. Елисейкин, Е. И. Разработка специальной адгезивной покрытия рабочего стола FDM 3D-принтера для повышения качества печати изделий / Е. И. Елисейкин // Гагаринские чтения - 2018: Сборник тезисов докладов XLIV Международной молодежной научной конференции, Москва-Байконур-Ахтубинск, 17–20 апреля 2018 года. Том 3. – Москва-Байконур-Ахтубинск: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2018. – С. 173-174. – EDN XPRMIX.

21. Метод настройки 3D-принтера и выбор оптимальных параметров для улучшения качества 3D-печати / А. В. Блохин, А. А. Сапилова, А. А. Приемко [и др.] // Информационные технологии в науке и производстве: Материалы VI Всероссийской молодежной научно-технической конференции, Омск, 23–24 апреля 2019 года / Редколлегия: А.Г. Янишевская [и др.]. – Омск: Омский государственный технический университет, 2019. – С. 8-16. – EDN KAUGTI.

22. Варнавский, А. Н. Исследование влияния показателей печати на качество и соотношение цена/качество результата изготовления изделий на бюджетном 3d-принтере / А. Н. Варнавский, А. Р. Гадельшин, Д. С. Салин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2018. – № 12. – С. 124-131. – DOI 10.12737/article_5c1c9969a10128.83957539. – EDN YQVDLN.

23. Блохин, А. В. Метод поиска оптимальных параметров печати 3D-модели / А. В. Блохин, С. В. Шабунин, П. Н. Абашкина // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: Материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, ученых и специалистов, посвященной 20-летию создания кафедры электроэнергетики: в 2-х томах, Тюмень, 18–20 декабря 2019 года / Ответственный редактор: А. Н. Халин. Том I. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2019. – С. 12-14. – EDN DIGASN.

24. Савицкий, В. В. Исследование влияния параметров 3D-печати на размерную точность изделий / В. В. Савицкий, А. Н. Голубев, Д. И. Быковский // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2018. – № 2(35). – С. 52-61. – DOI 10.24411/2079-7958-2018-13506. – EDN PITDEM.

25. Программно-аппаратный комплекс 3D печати с повышенной производительностью и качеством / А. А. Швец, А. Р. Авдеев, И. А. Гуцин, А. Л. Плотников // Сборник тезисов участников форума "Наука будущего - наука молодых", Нижний Новгород, 12–14 сентября 2017 года. Том 2. – Нижний Новгород: ООО "Инконсалт К", 2017. – С. 330-332. – EDN YRMQVF.

26. K3D калибровщик Pressure Advance // K3D URL: <https://k3d.tech/calibrations/la/> (дата обращения: 10.01.2023).

27. Ручной подбор частоты Input Shaping // K3D URL: https://k3d.tech/calibrations/manual_is_calibration/ (дата обращения: 10.01.2023).

Родичев Алексей Юрьевич,

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, д. 77
К.т.н., доцент кафедры сервиса и ремонта машин
E-mail: rodfox@yandex.ru

Горин Андрей Владимирович

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: Россия, 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
К.т.н., доцент кафедры Мехатроника, механика и робототехника
E-mail: gorin57@mail.ru

A.Yu. RODICHEV, A.V. GORIN

IMPROVING THE PROCESS OF APPLYING ADDITIVE TECHNOLOGY IN THE MAINTENANCE AND REPAIR OF MACHINES

Abstract. *The article presents a study of 3D printing parameters for the accuracy and quality of manufactured products. Possible methods were analyzed and the best ways to solve them were considered, as a result of which the two most relevant defects that arose during 3D printing were identified. To eliminate these defects, the hardware and software of the base 3D printer were upgraded. After that, test experiments were carried out, which confirmed the correctness of the accepted ruffles.*

Keywords: *3D printing, precision, additive technologies, surface quality, print parameters, settings, fabrication.*

BIBLIOGRAPHY

1. Zlenko M.A. Nagaytsev M.V., Dovbysh V.M. Additive technologies in mechanical engineering // manual for engineers. M. SSC RF FSUE "NAMI" 2015. 220 p.
2. History and technology of three-dimensional printing / N.V. Kushnir, A.V. Kushnir, A.M. Gerashchenko, A.V. Tyrtysny // Scientific works of KubGTU. Krasnodar: No. 5. 2015.
3. 3D printing technologies [Text] / M.N. Lysykh, R.A. Belinchenko, A.A. Shkilny // Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. - 2014. - T. 2. #4–3 (9–3). – S. 215–219.
4. What is FDM technology? [Electronic resource] /URL: <http://3dp.su/chto-takoe-tekhnologiya-fdm>

5. Layer Object Manufacturing, LOM [Electronic resource] / URL: <http://3dp.su/layer-object-manufacturing-lom>
6. News of 3D printing and 3D scanning. URL: <http://3ddaily.ru>
7. Application of 3D printers in mechanical engineering. URL: <http://www.printcad.ru/primeneniya-3d-printerov/mashinostroenie.html>.
8. St. Petersburg Institute of Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences. URL: <http://www.proceedings.spiiras.nw.ru/data/src/2010/15/00/spy>.
9. 3D printing technologies. Principles, capabilities, consumables, prices // URL: http://www.ixbt.com/printer/3d/3d_tech.shtml.
10. Encyclopedia of 3D printing. URL: <http://3dtoday.ru/wiki>.
11. 3D printing, casting, CNC machining, laser cutting. URL: <http://www.3dprintspb.com>
12. 3D printers. URL: <http://www.3dnews.ru/peripheral/3d-print/print>.
13. Barnatt C. 3D-Printing: Second Edition / CreateSpace Independent Publishing Platform. 2014. 306 p.
14. Barnatt C. 3D-Printing: The Next Industrial Revolution / Barnatt C. - ExplainingTheFuture.com.2013.276p.
15. Evans B. Practical 3D Printers: The Science and Art of 3DPrinting/ Evans B. – Apress. 2013. 332 p.
16. Library for analysis of models for 3D printing, [Electronic resource]. – Access mode: http://edu.ascon.ru/main/competition/gallery/items/?bm_id=65174
17. Kozlov, A. S. Methods for improving the quality of 3D printer printing / A. S. Kozlov, E. L. Fain // Young scientists - the development of the textile and industrial cluster (POISK). - 2017. - No. 2. - P. 274-276. – EDN ZDFYYN.
18. Kozlov, A. S., Fain, E. L. A technique for improving the quality of printing in 3D printers by setting the parameters of slicer programs // Young scientists for the development of the National Technology Initiative (POISK). - 2018. - No. 1. - P. 145-146. – EDN XPLIUP.
19. Kolesnikov, A. A. Situational management of quality assurance for manufacturing products using 3D printing technology based on FDM technology / A. A. Kolesnikov // - 2014. - No. XII. - S. 77-79. – EDN RXCJIZ.
20. Eliseikin, E. I. Development of a special adhesive coating for the desktop of an FDM 3D printer to improve the quality of printing products / E. I. Eliseikin // Gagarin Readings - 2018: Collection of abstracts of the XLIV International Youth Scientific Conference, Moscow-Baikonur-Akhtubinsk, April 17–20, 2018. Volume 3. - Moscow-Baikonur-Akhtubinsk: Moscow Aviation Institute (National Research University), 2018. - P. 173-174. – EDN XPRMIX.
21. Blokhin A. V., Sapilova A. A., Priemko A. A. [et al.] Method of setting up a 3D printer and choosing the optimal parameters for improving the quality of 3D printing // Information technologies in science and production: Materials VI All-Russian Youth Scientific and Technical Conference, Omsk, April 23–24, 2019 / Editorial Board: A.G. Yanishevskaya [i dr.]. - Omsk: Omsk State Technical University, 2019. - P. 8-16. – EDN KAUGTI.
22. Varnavsky, A. N., Gadelshin A. R., Salin D. S. Study of the impact of print indicators on the quality and price / quality ratio of the result of manufacturing products on a budget 3d printer // Bulletin of the Belgorod State University Technological University. V.G. Shukhov. - 2018. - No. 12. - P. 124-131. – DOI 10.12737/article_5c1c9969a10128.83957539. – EDN YQVDLN.
23. Blokhin, A. V. The method of searching for optimal parameters for printing a 3D model / A. V. Blokhin, S. V. Shabunin, P. N. Abashkina // Energy saving and innovative technologies in the fuel and energy complex: Materials of the National with international participation of a scientific and practical conference of students, graduate students, scientists and specialists dedicated to the 20th anniversary of the creation of the Department of Electric Power Engineering: in 2 volumes, Tyumen, December 18–20, 2019 / Managing editor: A. N. Khalin. Volume I. - Tyumen: Tyumen Industrial University, 2019. - P. 12-14. – EDN DIGASN.
24. Savitsky, V.V., Golubev, A.N., Bykovsky, D.I. Study of the influence of 3D printing parameters on the dimensional accuracy of products // Bulletin of the Vitebsk State Technological University. - 2018. - No. 2 (35). - S. 52-61. – DOI 10.24411/2079-7958-2018-13506. – EDN PITDEM.
25. A. A. Shvets, A. R. Avdeev, A. R. Avdeev, I. A. Gushchin, A. L. Plotnikov, A. A. Shvets, A. L. Plotnikov, A. A. Collection of abstracts of the participants of the forum "Science of the Future - Science of the Young", Nizhny Novgorod, September 12–14, 2017. Volume 2. - Nizhny Novgorod: LLC "Inconsult K", 2017. - P. 330-332. – EDN YRMQVF.
26. K3D Pressure Advance calibrator // K3D URL: <https://k3d.tech/calibrations/la/> (accessed 01/10/2023).
27. Manual frequency selection Input Shaping // K3D URL: https://k3d.tech/calibrations/manual_is_calibration/ (Accessed 10.01.2023).

Rodichev Alekse Yrievich

Orel State University
Adress: 302026, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77
candidate of technical Sciences, associate professor
of the department service and repair of machines
E-mail: rodfox@yandex.ru

Gorin Andrei Vladimirovich

Orel State University
Adress: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29
candidate of technical Sciences, associate professor
of the department mechatronics, mechanics and robotics
E-mail: nastepanin02@mail.ru

Г.В. БАРСУКОВ, В.С. ШОРКИН, Л.Ю. ФРОЛЕНКОВА,
Т.А. ЖУРАВЛЕВА, О.Г. КОЖУС, Е.А. ПРАСОЛОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДОСТИ АБРАЗИВА С ДИФФУЗИОННЫМ СЛОЕМ КАРБИДА КРЕМНИЯ ДЛЯ ГИДРОАБРАЗИВНОГО РЕЗАНИЯ ПО ЗНАЧЕНИЯМ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИИ

Аннотация. В статье рассмотрен метод контроля механических свойств частиц медного шлака с синтезированным слоем карбида кремния, исходя из значений поверхностной энергии, которая характеризует твердость и прочность абразивного материала, оказывает существенное влияние на его механические характеристики. Приведены зависимости модуля упругости и поверхностной энергии диффузионного слоя частицы медного шлака, что позволяет рассчитать энергетическое состояние молекул на поверхности частицы по значению краевого угла смачивания и определить твердость синтезированного абразивного материала для гидроабразивного резания.

Ключевые слова: абразив, медный шлак, гидроабразивное резание, диффузионное покрытие, высокотемпературная обработка, карбюризация.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 22-29-01599.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Илюхина А.А., Колпаков В.И., Галиновский А.Л., Хахалин А.В. Особенности процесса гидроабразивной резки сотовых панелей космических аппаратов // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. 2018. № 4. С. 101-107.
2. Головин К. А., Говорова Е. В. К вопросу о разработке современного гидроабразивного инструмента // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2010. №1. С. 155 – 162.
3. Тамаркин, М. А. Повышение качества гидроабразивной резки деталей из авиационных материалов / М. А. Тамаркин, А. В. Верченко, А. А. Кишко // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П. А. Соловьева. – 2017. – № 2(41). – С. 88-96.
4. Погребняк А.В., Дейниченко Г.В. Исследование процесса гидрорезания пищевых продуктов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2016. №3. С. 48-62.
5. Добровольский И.В., Лях М.М. Выбор оптимальных режимов гидроабразивного резания металла // Экспозиция Нефть Газ. 2016. №4 (50). С. 58-60.
6. Барсуков Г.В., Степанова Е.Ю., Кожус О.Г. Инновационные технологии резания сверхзвуковой струей жидкости: экономика, рынок, состояние и перспективы развития // Вестник Брянского государственного технического университета. 2017. № 1 (54). С. 243-253.
7. Степанова Е.Ю., Барсуков Г.В., Степанов Ю.С. Прорывные технологии нового поколения формообразования пространственно-сложных поверхностей наукоемких изделий // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 8-2. С. 243-249.
8. Llanto J.M., Tolouei-Rad M., Vafadar A., Aamir M. Recent progress trend on abrasive waterjet cutting of metallic materials: a review - Applied Sciences, 2021.
9. Степанов, Ю. С. Научоёмкие технологии резания материалов сверхзвуковой струей жидкости различного состава / Ю. С. Степанов, Г. В. Барсуков, А. В. Михеев // Научоёмкие технологии в машиностроении. – 2011. – № 4. – С. 32-38.
10. Судник Л.В., Галиновский А.Л., Коберник Н.В., Кравченко И.Н., Вышегородцева А.С., Баранова Н.С., Боровик Т.Н. Диагностика поверхностного слоя материалов абразивно-жидкостной ультраструей // Технология металлов. 2021. № 6. С. 22-30.
11. Maojun Li, Ting Su, Xiangchen Lin Surface formation and kerf characteristics during single-pass abrasive waterjet slotting of hybrid CFRP/metallic stacks. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. Vol. 41. 2023, pp. 94-107.
12. Михеев А.В., Барсуков Г.В., Черепенько А.А., Бурнашов М.А. Разработка технологических рекомендаций по определению энергоэффективной режимной области гидроабразивного резания многослойных материалов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2015. № 5-2 (313). С. 256-261.
13. Yu, Y., Sun, T., Yuan, Y. et al. Experimental investigation into the effect of abrasive process parameters on the cutting performance for abrasive waterjet technology: a case study. Int J Adv Manuf Technol 107. 2020, pp. 2757-2765.
14. Percec, A. Experimental research into alternative abrasive material for the abrasive water-jet cutting of titanium. Int J Adv Manuf Technol 97. 2018, pp. 1529-1540.
15. Барсуков Г.В., Селеменев М.Ф., Кравченко И.Н., Журавлева Т.А., Селеменова Е.М., Бармина О.В., Петровский Д.И. Влияние параметров химико-термической обработки частиц медного шлака на качество гидроабразивного резания // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2022. № 4. С. 22-30.

16. Sitek, L., Martinec, P. Abrasives and possibilities of increase in efficiency of abrasive waterjets. MM Science Journal. 2016, pp. 877-881.
17. Rabah M. A. Influence of Particle Size and Calcination Temperature on the Abrasiveness of Garnet for Water Jet Cutting of Tough Materials. Solid State Phenomena. – Trans Tech Publications Ltd, 2018. Vol 277, pp. 17-26.
18. Jiong Zhao, Zhuan Li et al. Microstructure and grain growth mechanism of corundum abrasive with La₂O₃–TiO₂–SiO₂. Vacuum. Vol. 201. 2022.
19. Барсуков Г.В., Журавлева Т.А., Селеменова Е.М. Исследование влияния режимов химико-термической обработки медного шлака на его прочность при гидроабразивном резании // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2022. № 3 (353). С. 28-33.
20. Фроленкова Л.Ю., Шоркин В.С. Метод вычисления поверхностной энергии и энергии адгезии упругих тел // Вестник ПНИПУ. Механика. 2013. №1. С. 235-259.
21. Фирстов, С. А. Актуальные проблемы определения характеристик деформации, упругости и прочности новых материалов, а также структурных и фазовых превращений в них методом индентирования / С. А. Фирстов, В. Ф. Горбань, Э. П. Печковский // 46 Международная конференция "Актуальные проблемы прочности": материалы конференции, Витебск, 15-17 октября 2007 г. / УО "ВГТУ". - Витебск, 2007. - Ч. 2. - С. 3-8.
22. Matyukhin, S, Frolenkov, K. A contact angle measuring as a method for researching of the surface adhesive properties and energy state of molecules on the two-phase boundary // Condensed Matter and Interphases (in Russia). V.5. 2003. P.216-220.

Барсуков Геннадий Валерьевич

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева,
доктор технических наук,
профессор кафедры машиностроения
г. Орёл ул. Московская д. 34
Тел: +79038806976
awj@list.ru

Фроленкова Лариса Юрьевна

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева,
доктор технических наук,
Зав. кафедрой, профессор кафедры машиностроения
г. Орёл ул. Московская д. 34
Тел: +79038806976
larafralenkova@yandex.ru

Кожус Ольга Геннадьевна

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева,
кандидат технических наук,
ведущий инженер отдела организационного
сопровождения НИР
г. Орёл ул. Наугорское ш. 29
Тел: +79038806976
okozyhus@mail.ru

Шоркин Владимир Сергеевич

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева,
доктор физико-математических наук,
профессор
г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел: +7 (4862) 41-98-02
V.S.Shorkin@yandex.ru

Журавлева Татьяна Александровна

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана
Кандидат технических наук, докторант
г. Калуга, ул. Баженова, д. 2.
Тел.: + 7 (4862) 413295
E-mail: awj@list.ru

Прасолов Егор Александрович

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева,
аспирант кафедры машиностроения
г. Орёл ул. Московская д. 34
Тел: +79038806976
awj@list.ru

G.V. BARSUKOV, V.S. SHORKIN, L.Y. FROLENKOVA,
T.A. ZHURAVLEVA, O.G. KOZHUS, E.A. PRASOLOV

**INVESTIGATION OF THE HARDNESS OF AN ABRASIVE WITH A
DIFFUSION LAYER OF SILICON CARBIDE FOR WATERJET CUTTING
BY SURFACE ENERGY VALUES**

Annotation. *The article considers a method for controlling the mechanical properties of copper slag particles with a synthesized silicon carbide layer, based on the values of surface energy, which characterizes the hardness and strength of the abrasive material, has a significant impact on its mechanical characteristics. The dependences of the modulus of elasticity and the surface energy of the diffusion layer of a copper slag particle are given, which makes it possible to calculate the energy state of molecules on the surface of the particle by the value of the wetting edge angle and determine the hardness of the synthesized abrasive material for waterjet cutting.*

Keywords: *abrasive, copper slag, waterjet cutting, diffusion coating, high temperature treatment, carburization.*

BIBLIOGRAPHY

1. Ilyukhina A.A., Kolpakov V.I., Galinovsky A.L., Khakhalin A.V. Features of the process of waterjet cutting of cellular panels of spacecraft // *Bulletin of the Moscow University. Series 3: Physics. Astronomy.* 2018. No. 4. pp. 101-107.
2. Golovin K. A., Govorova E. V. On the development of a modern waterjet tool // *News of TulsU. Earth sciences.* 2010. No. 1. pp. 155 – 162.
3. Tamarkin, M. A. Improving the quality of waterjet cutting of parts from aviation materials / M. A. Tamarkin, A.V. Verchenko, A. A. Kishko // *Bulletin of the Rybinsk State Aviation Technological Academy named after P. A. Solovyov.* – 2017. – № 2(41). – Pp. 88-96.
4. Pogrebnyak A.V., Deinichenko G.V. Investigation of the process of hydro-cutting of food products // *Scientific Journal of ITMO Research Institute. The series "Processes and devices of food production".* 2016. No.3. pp. 48-62.
5. Dobrovolsky I.V., Lyakh M.M. Selection of optimal modes of waterjet cutting of metal // *Exposition Oil and Gas.* 2016. No. 4 (50). pp. 58-60.
6. Barsukov G.V., Stepanova E.Yu., Kozhus O.G. Innovative cutting technologies with supersonic liquid jet: economy, market, state and prospects of development // *Bulletin of the Bryansk State Technical University.* 2017. No. 1 (54). pp. 243-253.
7. Stepanova E.Yu., Barsukov G.V., Stepanov Yu.S. Breakthrough technologies of a new generation of shaping of spatially complex surfaces of high-tech products // *Proceedings of Tula State University. Technical sciences.* 2016. No. 8-2. pp. 243-249.
8. Llanto J.M., Tolui-Rad., Vafadar., Amir. Recent trends in progress in the field of abrasive waterjet cutting of metal materials: review - *Applied Sciences*, 2021.
9. Stepanov, Yu. S. High-tech technologies for cutting materials with a supersonic jet of liquid of various composition / Yu. S. Stepanov, G. V. Barsukov, A.V. Mikheev // *High-tech technologies in mechanical engineering.* – 2011. – No. 4. – Pp. 32-38.
10. Sudnik L.V., Galinovsky A.L., Kobernik N.V., Kravchenko I.N., Vyshegorodtseva A.S., Baranova N.S., Borovik T.N. Diagnostics of the surface layer of materials by abrasive-liquid ultrajet // *Technology of metals.* 2021. No. 6. pp. 22-30.
11. Maojun Li, Ting Su, Xiangchen Lin Surface formation and characteristics of cuts during single-pass abrasive-waterjet slotting of hybrid fiberglass and metal bags. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology.* Volume 41. 2023, pp. 94-107.
12. Mikheev A.V., Barsukov G.V., Cherepenko A.A., Burnashov M.A. Development of technological recommendations for determining the energy-efficient regime area of waterjet cutting of multilayer materials // *Fundamental and applied problems of engineering and technology.* 2015. No. 5-2 (313). pp. 256-261.
13. Yu, Yu, Song, T., Yuan, Yu, etc. Experimental study of the influence of the parameters of the abrasive process on the cutting performance when using abrasive-waterjet technology: a case study. *Int J Adv Manufacturing Technol* 107. 2020, pp. 2757-2765.
14. Peretz, A. Experimental study of an alternative abrasive material for abrasive waterjet cutting of titanium / A. Peretz. *Int J Adv Manufacturing Technol* 97. 2018, pp. 1529-1540.
15. Barsukov G.V., Selemenev M.F., Kravchenko I.N., Zhuravleva T.A., Selemeneva E.M., Barmina O.V., Petrovsky D.I. Influence of parameters of chemical-thermal treatment of copper slag particles on the quality of waterjet cutting // *Problems of mechanical engineering and automation.* 2022. No. 4. pp. 22-30.
16. Sitek L., Martinek P. Abrasives and the possibilities of improving the efficiency of abrasive waterjet installations. *MM Science Journal.* 2016, pp. 877-881.
17. Rabakh M. A. Influence of particle size and firing temperature on the abrasiveness of a grenade for waterjet cutting of rigid materials. *Phenomena in the solid state.* – Trans Tech Publications Ltd., 2018. Volume 277, pp. 17-26.
18. Jiong Zhao, Zhuan Li et al. Microstructure and mechanism of grain growth of corundum abrasive with La₂O₃-TiO₂-SiO₂. *Vacuum.* Volume 201. 2022.
19. Barsukov G.V., Zhuravleva T.A., Selemeneva E.M. Investigation of the influence of modes of chemical-thermal treatment of copper slag on its strength during waterjet cutting // *Fundamental and applied problems of engineering and technology.* 2022. No. 3 (353). pp. 28-33.
20. Frolenkova L.Yu., Shorkin V.S. Method of calculating surface energy and adhesion energy of elastic bodies // *Bulletin of PNRPU. Mechanics.* 2013. No. 1. pp. 235-259.
21. Firstov, S. A. Actual problems of determining the characteristics of deformation, elasticity and strength of new materials, as well as structural and phase transformations in them by indentation method / S. A. Firstov, V. F. Gorban, E. P. Pechkovsky // 46 International Conference "Actual problems of strength": conference materials, Vitebsk, October 15-17, 2007 / UO "VSTU". - Vitebsk, 2007. - Part 2. - p. 3-8.
22. Matyukhin S., Frolenkov K. Measuring the contact angle as a method for studying the surface adhesive properties and the energy state of molecules at the boundary of two phases // *Condensed media and interphase interactions (in Russia).* Vol.5. 2003. pp.216-220.

Barsukov Gennady Valeryevich
Oryol State University
named after I.S. Turgenev,
Doctor of Technical Sciences,

Shorkin Vladimir Sergeevich
Oryol State University
named after I.S. Turgenev,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,

Professor of the Department of Mechanical Engineering
Orel, Moskovskaya str., 34
+79038806976
awj@list.ru

Frolenkova Larisa Yuryevna

Oryol State University
named after I.S. Turgenev,
Doctor of Technical Sciences,
Head of the Department, Professor of the Department of
Mechanical Engineering
Orel, Moskovskaya str., 34
+79038806976
laraflenkova@yandex.ru

Kozhus Olga Gennadievna

Oryol State University
named after I.S. Turgenev,
Candidate of Technical Sciences,
Leading Engineer of the Department of Organizational
Support of Research
Orel, Naugorskoe sh. 29
+79038806976
okozhus@mail.ru

Professor
Orel, Naugorskoe Highway, 29
+7 (4862) 41-98-02
V.S.Shorkin@yandex.ru

Zhuravleva Tatiana Alexandrovna

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical
University
Candidate of Technical Sciences, doctoral
student, Kaluga, Bazhenova str., 2.
+ 7 (4862) 413295
E-mail: awj@list.ru

Prasolov Egor Alexandrovich

Oryol State University
named after I.S. Turgenev,
postgraduate student of the Department of Mechanical
Engineering
Orel, Moskovskaya str., 34
+79038806976
awj@list.ru

© Г.В. Барсуков, В.С. Шоркин, Л.Ю. Фроленкова, Т.А. Журавлева, О.Г. Кожус, Е.А. Прасолов, 2023

УДК 621.892+621.785.6.06.004

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-359-3-77-83

А.В. ШОЛОМ

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ И ВЯЗКОСТИ МАСЛЯНЫХ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ НА ИХ ОХЛАЖДАЮЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

***Аннотация.** В работе рассматриваются охлаждающие характеристики масляных смазочно-охлаждающих жидкостей во взаимосвязи с их плотностью и вязкостью. Показана возможность определения охлаждающих характеристик СОЖ на установке УЗС-2, изготовленной по требованиям международных стандартов ISO 9950, ASTM D6200 - 01 и ASTM D6482 – 06. В статье установлено влияние плотности и вязкости смазочно-охлаждающих жидкостей на их охлаждающие характеристики и возможность использования созданной установки для оценки охлаждающих свойств СОЖ, применяемых в процессах металлообработки.*

Ключевые слова: установка, смазочно-охлаждающая жидкость, охлаждающая способность, нагрузка сваривания, износ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / под ред. А. В. Чичинадзе, М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.
2. Шашин А. Д. Исследование влияния СОЖ на процесс взаимодействия инструмента и заготовки при обработке металлов резанием: дис... канд. технич. наук 05.03.01/Шашин, Андрей Дмитриевич.- Москва, 2003 - 118 с.
3. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник / Под общей ред. С.Г. Энтелиса, Э.М. Берлинера. - М.: Машиностроение, 1986, - 352 с.
4. Бердичевский У.Г. Смазочно-охлаждающие средства для обработки материалов. Справочник. М.: Машиностроение, 1984, - 224 с.
5. Отчет по проекту № 2.1.2/5384 «Исследование и разработка научных основ процесса трения и износа твердых тел на граничном контакте в экстремальных условиях» аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)». Мероприятие: №2 «Проведение фундаментальных исследований в области естественных, технических и гуманитарных наук. Научно-методическое обеспечение развития инфраструктуры вузовской науки». Великий Новгород 2009г. С.92.

6. Чередниченко Г.И., Фройштетер Г.Б., Ступак П.М. Физико-химические и теплофизические свойства смазочных материалов. - Л.: Химия, 1976. - 224с.
7. Цулук А.И., Лобанцова В.С. Термический анализ эффективности действия СОЖ. ВНИИТЭМР. - М., 1984.-вып.4. С. - 38с.
8. Буров Ю.Г., Поздеев Б.М. Определение количества тепла, переданного от заготовки к штампу. – М.: Известия вузов. Машиностроение - 1975, №5.- С. 88-96.
9. Кисель А. Г., Ражковский А. А., Попов А. Ю., Реченко Д. С., Шнуров Ю. В. Исследование охлаждающей способности водоэмульсионных смазочно-охлаждающих жидкостей и их влияния на коэффициент трения при токарной обработке стали 45 // Перспективы развития научных исследований в 21 веке: сб. матер. 1-й Международ. науч.-практ. конф., 31 января, 2013г. / Издательство Перо. М., 2013.С. 75–79.
10. Кисель А. Г., Ражковский А. А., Попов А. Ю., Реченко Д. С., Шнуров Ю. В. Исследование охлаждающей способности синтетических смазочно-охлаждающих жидкостей и их влияния на коэффициент трения при токарной обработке стали 45 // Новый университет. 2013. № 1 (11). С. 45–48.
11. Пат.на полез. модель 130081 Российская Федерация, МПК G01 N25/18. Устройство для определения охлаждающей способности жидкой среды / Шнуров Ю. В., Кузнецов И. Г., Кисель А. Г., Реченко Д. С., Ражковский А. А., Попов А.Ю. –№ 2013106103/28; заявл. 12.02.2013; опубл. 10.07.2013, Бюл. № 19.
12. Тюленев Д.Г., Абрамов А.Н., Шолом В.Ю., Шолом А.В.,Поляков А. Б Исследование охлаждающей способности смазочно-охлаждающих жидкостей.// Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2019. - № 4. – С. 34-41.
13. Шолом А.В., Тюленев Д.Г., Калимуллин А.А., Абрамов А.Н., Шолом В.Ю. Модернизация установки для определения охлаждающих характеристик закалочных сред. Всероссийская научно-техническая конференция «Металлообработка: оптимизация и современные технологии» г. Уфа, 2019г. С.57-60
14. Патент РФ № 2699698. Установка для определения охлаждающей способности технологической среды / Шолом А.В., Поляков А.Б., Тюленев Д.Г., Иванов В.В., Волкова Е.Б., № 2018125812; заявл. 12.07.2018; опубл. 09. 09. 2019, Бюл. № 25.
15. ISO 9950:1995(E). Industrial quenching oils Determination of cooling characteristics - Nickel-alloy probe test method. - Geneva: International Organization for Standardization, 1995. - 9 p.
16. ASTM D6482 - 06(2016) Standard Test Method for Determination of Cooling Characteristics of Aqueous Polymer Quenchants by Cooling Curve Analysis with Agitation (Tensi Method), 2016. - 9 p
17. ASTM D6200 - 01(2017) Standard Test Method for Determination of Cooling Characteristics of Quench Oils by Cooling Curve Analys, 2017.- 6 p.

Шолом Андрей Владимирович

Технопарк «ХТЦ УАИ-РОСОЙЛ»,г. Уфа
научный сотрудник
450000, РБ, г.Уфа, ул Набережная 122
+7(347)272-47-88, rosoil@rosoil.ru

A.V. SHOLOM

INFLUENCE OF DENSITY AND VISCOSITY OF OIL LUBRICANTS ON THEIR COOLING CHARACTERISTICS

Abstract. *The paper considers the cooling characteristics of oil lubricants in relation to their density and viscosity. The possibility of determining the cooling characteristics of coolant on the UZS-2 installation, manufactured according to the requirements of international standards ISO 9950, ASTM D6200 - 01 and ASTM D6482 – 06, is shown. With the help of the installation for determining the cooling characteristics of technological media, the relationship between the cooling and tribotechnical characteristics of lubricants is established.*

Keywords: *installation, coolant; cooling capacity, welding load, wear.*

BIBLIOGRAPHY

1. Treniye, iznos i smazka (tribologiya i tribotekhnika) / pod red. A. V. Chichinadze, M.: Mashinostroyeniye, 2003. – 576 s.
2. Shashin A. D. Issledovaniye vliyaniya SOZH na protsess vzaimodeystviya instrumenta i zagotovki pri obrabotke metallov rezaniyem: dis... kand. tekhnich. nauk 05.03.01/Shashin, Andrey Dmitriyevich.- Moskva, 2003 - 118 s.
3. Smazochno-okhlazhdayushchiye tekhnologicheskiye sredstva dlya obrabotki metallov rezaniyem: Spravochnik / Pod obshchey red. S.G. Entelisa, E.M. Berlinera. - M.: Mashinostroyeniye, 1986, - 352 s.

4. Berdichevskiy U.G. Smazochno-okhlazhdayushchiye sredstva dlya obrabotki materialov. Spravochnik. M.: Mashinostroyeniye, 1984, - 224 s.
5. Otchet po proyektu № 2.1.2/5384 «Issledovaniye i razrabotka nauchnykh osnov protsessa treniya i iznosa tverdykh tel na granichnom kontakte v ekstremal'nykh usloviyakh» analiticheskoy vedomstvennoy tselevoy programmy «Razvitiye nauchnogo potentsiala vysshey shkoly (2009-2010 gody)». Meropriyatiye: №2 «Provedeniye fundamental'nykh issledovaniy v oblasti yestestvennykh, tekhnicheskikh i gumanitarnykh nauk. Nauchno-metodicheskoye obespecheniye razvitiya infrastruktury vuzovskoy nauki». Velikiy Novgorod 2009g. S.92.
6. Cherednichenko G.I., Froysheter G.B., Stupak P.M. Fiziko-khimicheskiye i teplofizicheskiye svoystva smazochnykh materialov.- L.: Khimiya, 1976. - 224s.
7. Tsulok A.I., Lobantsova V.S. Termicheskii analiz effektivnosti deystviya SOZH. VNIITEMR. - M.,1984.- vyp.4. C. - 38s.
8. Burov YU.G., Pozdeyev B.M. Opredeleniye kolichestva tepla, peredannogo ot zagotovki k shtampu. – M.: Izvestiya vuzov. Mashinostroyeniye - 1975, №5.- S. 88-96.
9. Kisel' A. G., Razhkovskiy A. A., Popov A. YU., Rechenko D. S., Shnurov YU. V. Issledovaniye okhlazhdayushchey sposobnosti vodoemul'sionnykh smazochno-okhlazhdayushchikh zhidkostey i ikh vliyaniya na koeffitsiyent treniya pri tokarnoy obrabotke stali 45 // Perspektivy razvitiya nauchnykh issledovaniy v 21 veke: sb. mater. 1-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 31 yanvarya, 2013g. / Izdatel'stvo Pero. M., 2013.S. 75–79.
10. Kisel' A. G., Razhkovskiy A. A., Popov A. YU., Rechenko D. S., Shnurov YU. V. Issledovaniye okhlazhdayushchey sposobnosti sinteticheskikh smazochno-okhlazhdayushchikh zhidkostey i ikh vliyaniya na koeffitsiyent treniya pri tokarnoy obrabotke stali 45 // Novyy universitet. 2013. № 1 (11). S. 45–48.
11. Pat.na polez. model' 130081 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G01 N25/18. Ustroystvo dlya opredeleniya okhlazhdayushchey sposobnosti zhidkoy sredy / Shnurov YU. V., Kuznetsov I. G., Kisel' A. G., Rechenko D. S., Razhkovskiy A. A., Popov A.YU. –№ 2013106103/28; zayavl. 12.02.2013; opubl. 10.07.2013, Byul. № 19.
12. Tyulenev D.G., Abramov A.N., Sholom V.YU., Sholom A.V.,Polyakov A. B Issledovaniye okhlazhdayushchey sposobnosti smazochno-okhlazhdayushchikh zhidkostey.// Kuznechno-shtampovochnoye proizvodstvo. Obrabotka metallov davleniyem. – 2019. - № 4. – S. 34-41.
13. Sholom A.V., Tyulenev D.G., Kalimullin A.A., Abramov A.N., Sholom V.YU. Modernizatsiya ustanovki dlya opredeleniya okhlazhdayushchikh kharakteristik zakalochnykh sred. Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Metalloobrabotka: optimizatsiya i sovremennyye tekhnologii».g. Ufa, 2019g. S.57-60
14. Patent RF № 2699698. Ustanovka dlya opredeleniya okhlazhdayushchey sposobnosti tekhnologicheskoy sredy / Sholom A.V., Polyakov A.B., Tyulenev D.G., Ivanov V.V., Volkova Ye.B., № 2018125812; zayavl. 12.07.2018; opubl. 09. 09. 2019, Byul. № 25.
15. ISO 9950:1995(E). Industrial quenching oils Determination of cooling characteristics - Nickel-alloy probe test method. - Geneve: International Organization for Standardization, 1995. - 9 p.
16. ASTM D6482 - 06(2016) Standard Test Method for Determination of Cooling Characteristics of Aqueous Polymer Quenchants by Cooling Curve Analysis with Agitation (Tensi Method), 2016. - 9 p
17. ASTM D6200 - 01(2017) Standard Test Method for Determination of Cooling Characteristics of Quench Oils by Cooling Curve Analys, 2017.- 6 p.

Sholom Andrey Vladimirovich
Technopark«KhTC UAI-ROSOIL»
450000, RB, Ufa city, Naberejnaya st.122
+7(347)272-47-88, rosoil@rosoil.ru

© А.В. Шолом, 2023

УДК 621.923

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-359-3-84-87

А.В. НЕМЕНКО, М.М. НИКИТИН

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ С ПАРАБОЛИЧЕСКИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ ВРАЩЕНИЯ

Аннотация. Рассмотрена задача оптимизации производственного контроля при изготовлении изделий с поверхностями параболоида вращения и параболического тора. Предложена весовая функция для интегральной меры отклонений фактической поверхности от заданной на текущем этапе изготовления. В качестве весовой функции используется абсолютная величина расстояния между средним радиусом и тем радиусом, на котором достигается наибольшее отклонение хорды от образующей. Показано, что для поверхностей этих двух классов локальный минимум времени изготовления можно обеспечить, сканируя весовую функцию по выбранному радиусу изготавливаемого изделия. Преимуществами предлагаемого подхода также является нулевое отклонение интегральной меры при точном совпадении поверхности с заданной, и

возможность контролировать кроме параболических также тороидальные поверхности с оптической точностью.

Ключевые слова: финишная обработка, параболоид вращения, параболический тор, производственный контроль, критерий качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каширин В.И. Основы формообразования оптических поверхностей: курс лекций / В.И. Каширин – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2006.
2. D.Malacara. Optical shop testing. John Wiley & Sons, 2017 - 855 p.
3. Hernández-Delgado, J., Malacara-Hernández, Z., Malacara-Doblado, D., Vázquez-Dorrío, B., & Malacara-Hernández, D.. Local curvatures and its measurements of an optical surface or a wavefront: a review. *Optical Engineering*, 61(5), 2022, 050901-050901.
4. Неменко А.В. Применение упругих деформаций к формообразованию параболического зеркала/А.В. Неменко, М.М. Никитин//Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2020, №3(341),С.11 – 19.
5. Неменко А.В. Управление процессом получения поверхностей второго порядка при финишной обработке/А.В. Неменко, М.М. Никитин//Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2020, №4(342),С.52 – 58.
6. Неменко А.В. Управление финишной обработкой криволинейной поверхности по критерию геометрического соответствия/А.В. Неменко, М.М. Никитин//Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2019, №4-1(336),с.191 - 196.
7. Неменко А.В. Линейная реконструкция положения контролируемого объекта/А.В. Неменко, М.М. Никитин//Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2020, №4-2(342), С.136 – 140.
8. Неменко А.В. Дальний прогноз эксплуатационной надежности производственной системы/А.В. Неменко, М.М. Никитин//Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2022, №4(354),с.58 - 64.
9. Alexandra V/ Nemenko, Michael M. Nikitin. Forecast estimator of surface machining completion. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2019, vol. 709, # 022006

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 QUALITY TESTS IN SURFACE FINISHING OF PARABOLIC SURFACES OF REVOLUTION

Abstract. *The problem of production control optimization in the manufacture of surfaces of a paraboloid of revolution and a parabolic torus is considered. A weight function is proposed for the integral measure of deviations of the actual surface from the given one at the current stage of manufacture. As a weighting function, the absolute value of the distance between the average radius and the radius at which the greatest deviation of the chord from the generatrix is reached is used. It is shown that for surfaces of these two classes, a local minimum of manufacturing time can be provided by scanning the weight function along the selected radius of the manufactured product. The advantages of the proposed approach are also the zero deviation of the integral measure when the surface exactly coincides with the given one, and the ability to control, in addition to parabolic, also toroidal surfaces with optical accuracy.*

Keywords: *finishing, paraboloid of revolution, parabolic torus, production control, quality criterion.*

BIBLIOGRAPHY

1. Kashirin V.I. Osnovy formoobrazovaniya opticheskikh poverhnostej: kurs lekciy / V.I. Kashirin – Ekaterinburg: GOU VPO UGTU – UPI, 2006.
2. D.Malacara. Optical shop testing. John Wiley & Sons, 2017 - 855 p.
3. Hernández-Delgado, J., Malacara-Hernández, Z., Malacara-Doblado, D., Vázquez-Dorrío, B., & Malacara-Hernández, D.. Local curvatures and its measurements of an optical surface or a wavefront: a review. *Optical Engineering*, 61(5), 2022, 050901-050901.
4. Nemenko A.V. Primenenie uprugih deformacij k formoobrazovaniju parabolicheskogo zerkala/A.V. Nemenko, M.M. Nikitin//Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii, 2020, №3(341),S.11 – 19.
5. Nemenko A.V. Upravlenie processom poluchenija poverhnostej vtorogo porjadka pri finishnoj obrabotke/A.V. Nemenko, M.M. Nikitin//Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii, 2020, №4(342),S.52 – 58.
6. Nemenko A.V. Upravlenie finishnoj obrabotkoj krivolinejnoy poverhnosti po kriteriju geometricheskogo sootvetstvija/A.V. Nemenko, M.M. Nikitin//Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii, 2019, №4-1(336),s.191 - 196.

7. Nemenko A.V. Linejnaja rekonstrukcija polozhenija kontroliruемого ob#ekta/A.V. Nemenko, M.M. Nikitin//Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii, 2020, №4-2(342), S.136 – 140.

8. Nemenko A.V. Dal'nij prognoz jekspluatacionnoj nadezhnosti proizvodstvennoj sistemy/A.V. Nemenko, M.M. Nikitin//Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii, 2022, №4(354),s.58 - 64.

9. Alexandra V/ Nemenko, Michael M. Nikitin. Forecast estimator of surface machining completion. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2019, vol. 709, # 022006

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

МАШИНОВЕДЕНИЕ И МЕХАТРОНИКА

УДК 621.865.8: 517.97: 51-74

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-359-3-88-94

А.И. БОХОНСКИЙ, Н.И. ВАРМИНСКАЯ

УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ОБЪЕКТОВ НА РОБОТИЗИРОВАННОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ УЧАСТКЕ

Аннотация. *Управления, найденные с привлечением реверсионного принципа оптимальности, применены для организации оптимального движения объектов по назначаемым траекториям на роботизированном технологическом участке (в виде прямой и части окружности). Ускорения реализуются с использованием пневмоприводов с управляемым дросселированием.*

Ключевые слова: *реверсионно конструируемое управление, траектория движения, усилия в приводах, роботизированный технологический участок.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козырев, Ю.Г. Роботизированные производственные комплексы / Ю.Г. Козырев, А.А. Кудинов, В.Э. Булатов и др.; Под ред. Ю.Г. Козырева, А.А. Кудинова. – М.: Машиностроение, 1987. – 272 с.
2. Пашков, Е.В. Транспортно-накопительные и загрузочные системы в сборочном производстве: Учеб. пособие / Е.В. Пашков, В.Я. Копп, А.Г. Карлов. - К.: УМК ВО, 1992. – 536 с.
3. Справочник по промышленной робототехнике. В 2 кн. Под ред. Ш. Нофа; Пер. с англ. В.Ф. Миронова и др.- М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.
4. Климов, А.С. Роботизированные технологические комплексы и автоматические линии в сварке / А.С. Климов, Н.Е. Машнин. – С.-Пб.: Лань, 2011. – 392 с.
5. Кангин, М.В. Гибкие автоматизированные производства / М.В. Кангин. – С.-Пб.: Лань, 2006. – 148 с.
6. Бохонский, А.И. Оптимальное управление переносным движением деформируемых объектов: теория и технические приложения / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, М.И. Мозолевский. – Севастополь: Изд-во Сев НТУ, 2007. – 296 с.
7. Бохонский, А.И. Вариационное и реверсионное исчисления в механике / А.И. Бохонский Н.И. Варминская. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2012. – 212 с.
8. Бохонский, А.И. Конструирование оптимальных управлений перемещением упругих объектов А.И. Бохонский, Н.И. Варминская. – С.-Пб.: НИЦ МС, 2020. – 120 с.
9. Бохонский, А.И. Механика управляемого движения объектов / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская Т.В. Мозолевская. – М.: ИНФРА-М, 2021. – 170 с.
10. Бохонский, А.И. Принцип и теоремы реверсионного исчисления / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, А.И. Рыжков // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.* – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2021. – № 3 (347). – С. 12 – 20.
11. Бохонский, А.И. Алгоритм конструирования оптимального движения упругого объекта / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, Т.В. Мозолевская, А.И. Рыжков // *Фундаментальные и прикладные проблемы*

техники и технологии. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2021. – № 4 (348). – С. 33 – 38.

12. Бохонский, А.И. Оценка энергопотребления для оптимального управления движением объекта / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская // ICMТМЕ IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2020. (<https://doi.org/10.1088/1757-899X/709/4/044093>).

13. Bokhonsky, A. Minimum energy capacity for acceleration-braking control / A. Bokhonsky, M. Maistrishin, A. Ryzhkov // ACM International Conference Proceedings Series: Proceedings of 2021 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Information Systems, ICAIS 2021. – 2021. – P. 3469216.

14. Бохонский, А.И. Оценка энергоемкости минимального принуждения целенаправленного движения объекта / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, А.И. Рыжков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2022. – № 1 (351). – С. 15 – 20.

15. Бохонский, А.И. Расчет и проектирование телескопических исполнительных органов манипуляторов: учеб. пособие / А.И. Бохонский, Г.Г. Макухина, Ю.А. Хащин. – К.: УМК ВО, 1989. – 132 с.

Бохонский Александр Иванович
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Профессор, доктор технических наук, профессор кафедры «Цифровое проектирование»
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. 8 (978) 739–39–68
E-mail: bohon.alex@mail.ru

Варминская Наталья Ивановна
Черноморское высшее военно-морское орденов Нахимова и Красной Звезды училище имени П.С. Нахимова, г. Севастополь
Доцент, кандидат технических наук, зав. кафедрой физики и общетехнических дисциплин
299028, г. Севастополь, ул. Дыбенко, д. 1а
Tel. 8 (978) 832–83–44
E-mail: nvarminska@gmail.com

A.I. BOKHONSKY, N.I. VARMINSKAYA

OBJECTS MOVEMENT CONTROL IN A ROBOTIZED TECHNOLOGICAL SECTION

Abstract. Controls found on the basis of the reversive principle of optimality are used to design the optimal movement of objects along assigned trajectories (in the form of a straight line and part of a circle) in a robotic technological section.

Keywords: reversively constructed control, motion trajectory, forces in drives, robotic technological section.

BIBLIOGRAPHY

1. Kozyrev, YU.G. Robotizirovannye proizvodstvennyye komplekсы / YU.G. Kozyrev, A.A. Kudinov, V.E. Bulatov i dr.; Pod red. YU.G. Kozyreva, A.A. Kudinova. – М.: Mashinostroenie, 1987. – 272 s.
2. Pashkov, E.V. Transportno-nakopitel'nye i zagruzochnye sistemy v sborochnom proizvodstve: Ucheb. posobie / E.V. Pashkov, V.YA. Kopp, A.G. Karlov. - К.: УМК ВО, 1992. – 536 s.
3. Spravochnik po promyshlennoj robototekhnike. V 2 kn. Pod red. SH. Nofa; Per. s angl. V.F. Mironova i dr.- М.: Mashinostroenie, 1889. – 480 s.
4. Klimov, A.S. Robotizirovannye tekhnologicheskie komplekсы i avtomaticheskie linii v svarke / A.S. Klimov, N.E. Mashnin. – S.-Pb.: Lan', 2011. – 392 s.
5. Kangin, M.V. Gibkie avtomatizirovannye proizvodstva / M.V. Kangin. – S.-Pb.: Lan', 2006. – 148 s.
6. Bohonskij, A.I. Optimal'noe upravlenie perenosnym dvizheniem deformiruemykh ob'ektov: teoriya i tekhnicheskie prilozheniya / A.I. Bohonskij, N.I. Varminskaya, M.I. Mozolevskij. – Sevastopol': Izd-vo Sev NTU, 2007. – 296 s.
7. Bokhonsky, A.I. Variacionnoe i reversionnoe ischisleniya v mekhanike / A.I. Bokhonsky, N.I. Varminskaya. – Sevastopol': Izd-vo SevNTU, 2012. – 212 s.
8. Bokhonsky, A.I. Konstruirovaniye optimal'nykh upravlenij peremeshcheniem uprugih ob'ektov / A.I. Bokhonsky, N.I. Varminskaya. – S.-Pb.: NIC MS, 2020. – 120 s.
9. Bokhonsky, A.I. Mekhanika upravlyaemogo dvizheniya ob'ektov / A.I. Bokhonsky, N.I. Varminskaya, T.V. Mozolevskaya. – М.: INFRA-M, 2021. – 170 s.
10. Bokhonsky, A.I. Princip i teoremy reversionnogo ischisleniya / A.I. Bokhonsky, N.I. Varminskaya, A.I. Ryzhkov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2021. – № 3 (347). – С. 12 – 20.

11. Bokhonsky, A.I. Algoritm konstruirovaniya optimal'nogo dvizheniya uprugogo ob"ekta / A.I. Bokhonsky, N.I. Varminskaya, T.V. Mozolevskaya, A.I. Ryzhkov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva, 2021. – № 4 (348). – S. 33 – 38.

12. Bokhonsky, A.I. Ocenka energopotrebleniya dlya optimal'nogo upravleniya dvizheniem ob"ekta / A.I. Bokhonsky, N.I. Varminskaya // ICMTMTE IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2020. (<https://doi.org/10.1088/1757-899X/709/4/044093>).

13. Bokhonsky, A. Minimum energy capacity for acceleration-braking control / A. Bokhonsky, M. Maistrishin, A. Ryzhkov // ACM International Conference Proceedings Series: Proceedings of 2021 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Information Systems, ICAIS 2021. – 2021. – P. 3469216.

14. Bokhonsky, A.I. Ocenka energoemkosti minimal'nogo prinuzhdeniya celenapravlennoogo dvizheniya ob"ekta / A.I. Bokhonsky, N.I. Varminskaya, A.I. Ryzhkov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva, 2022. – № 1 (351). – С. 15 – 20.

15. Bokhonsky, A.I. Raschet i proektirovanie teleskopicheskikh ispolnitel'nyh organov manipulyatorov: ucheb. posobie / A.I. Bokhonsky, G.G. Makuhina, YU.A. Hashchin. – K.: UMK VO, 1989. – 132 s.

Bokhonsky Alexander Ivanovich

Sevastopol State University, Sevastopol
Professor, Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department of «Digital Design»
299053, Sevastopol, st. Universitetskaya, 33
Tel. 8 (978) 739–39–68
E-mail: bohon.alex@mail.ru

Varminskaya Natalia Ivanovna

Nakhimov Black Sea Higher Naval School, Sevastopol
Associate Professor, Candidate of Technical Sciences,
Head of Physics and General Technical
Disciplines Department
299028, Sevastopol, st. Dybenko, 1a
Tel. 8 (978) 832–83–44
E-mail: nvarminska@gmail.com

© А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, 2023

УДК 616.728.2-089

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-359-3-95-101

В.И. ПАХАЛЮК, А.М. ПОЛЯКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ СВМПЭ ПОСЛЕ НАПЫЛЕНИЯ ОКСИДА ГРАФЕНА

Аннотация. *Статья посвящена исследованию процесса улучшения трибологических характеристик поверхности пленок из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) путем напыления на них слоя оксида графена из водно-спиртовой суспензии. Актуальность исследования связана с широким интересом использования СВМПЭ в медицине в конструкциях тотальных эндопротезов коленного и тазобедренного суставов. Разработана технология приготовления суспензии и нанесения покрытия на поверхность образцов СВМПЭ. После напыления слоя оксида графена на поверхность образца, для стабилизации и сшивания нанесённого слоя, образец обрабатывали в плазме гелия при пониженном давлении. Экспериментально показано, что нанесение покрытия из оксида графена на поверхность с последующей плазменной обработкой СВМПЭ более чем в три раза снижает динамический коэффициент трения скольжения (с 0,092 до 0,027) однако существенного увеличения адгезии покрытия вследствие плазменной обработки не наблюдалось.*

Ключевые слова: *оксид графена, СВМПЭ, плазма низкого давления, тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава, износостойкость, коэффициент трения.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Laska, A. Comparison of conventional and crosslinked ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) used in hip implant / A. Laska // World Sci News. – 2017. – Vol. 73. – P. 51–60.
2. Dougherty, P.S.M. An investigation of the wear mechanism leading to self-replenishing transfer films / P.S. M. Dougherty, R. Pudjoprawoto, C.F. Higgs // Wear. – 2011. – Vol. 272. – P. 122–132.
3. Rhee, S.H. Mechanisms of formation of polymeric transfer films / S.H. Rhee, K.C. Ludema // Wear. – 1978. – Vol. 46. – P. 231–240.
4. Schwartz, C.J. Studies on the tribological behavior and transfer film-counterface bond strength for polyphenylene sulfide filled with nanoscale alumina particles / C.J. Schwartz, S. Bahadur // Wear. – 2000. – Vol. 237. – P. 261–273.
5. Bahadur, S. The development of transfer layers and their role in polymer tribology / S. Bahadur // Wear. – 2000. – Vol. 245. – P. 92–99.
6. Poliakov, A. Current Trends in Improving of Artificial Joints Design and Technologies for Their Arthroplast

- y / A. Poliakov, V. Pakhaliuk, V.L. Popov // *Frontiers in Mechanical Engineering*. – 2020. – Vol. 6. – Art. 4. – 16 p.
7. Baena, J.C. Wear Performance of UHMWPE and Reinforced UHMWPE Composites in Arthroplasty Applications: A Review / J.C. Baena, J. Wu, Z. Peng // *Lubricants*. – 2015. – Vol. 3. – P. 413–436.
 8. McKellop, H. Development of an extremely wear-resistant ultra-high molecular weight polyethylene for total hip replacements / H. McKellop, F.W. Shen, B. Lu, P. Campbell, R. Salovey // *J Orthop Res*. – 1999. – Vol. 17, No 2. – P. 157–67.
 9. Bakshi, S.R. Synthesis and characterization of multiwalled carbon nanotube reinforced ultra-high molecular weight polyethylene composite by electrostatic spraying technique / S.R. Bakshi, J.E. Tercero, A. Agarwal // *Compos Part A*. – 2007. – Vol. 38, No 12. – P. 2493–2499.
 10. Kumar, R.M. Effects of carbon nanotube aspect ratio on strengthening and tribological behavior of ultra-high molecular weight polyethylene composite / R.M. Kumar, S. Kumar, B.V.M. Kumar, D. Lahiri // *Compos Part A*. – 2015. – Vol. 76. – P. 62–72.
 11. Tai, Z. Tribological behavior of UHMWPE reinforced with graphene oxide nanosheets / Z. Tai, Y. Chen, Y. An, X. Yan, Q. Xue // *Tribol Lett*. – 2012. – Vol. 46, No 1. – P. 55–63.
 12. Bhattacharyya, A. Graphene reinforced ultra-high molecular weight polyethylene with improved tensile strength and creep resistance properties / A. Bhattacharyya, S. Chen, M. Zhu // *Express Polym Lett*. – 2014. – Vol. 8, No 2. – P. 74–84.
 13. Liu, H. Surface modification of ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) by argon plasma / H. Liu, Y. Pei, D. Xie, X. Deng, Y.X. Leng, Y. Jin, N. Huang // *Applied Surface Science*. – 2010. – Vol. 256, No 12. – P. 3941–3945.
 14. Chih, A., Anson-Casaos A, Puertolas J A. Frictional and mechanical behaviour of graphene/UHMWPE composite coatings / A. Chih, A. Anson-Casaos, J.A. Puertolas // *Tribol Int*. – 2017. – Vol. 116. – P. 295–302.
 15. Chu, P.K. Plasma-surface modification of biomaterials / P.K. Chu, J.Y. Chen, L.P. Wang, N. Huang // *Material Sci Eng*. – 2002. – Vol. 36. – P. 143–206.
 16. Pakhaliuk, V.I. Reducing the wear of the UHMWPE used in the total hip replacement after low-pressure plasma treatment / V.I. Pakhaliuk, V.N. Vasilets, A.M. Poliakov, N.A. Torkhov // *J Appl Comput Mech*. – 2022. – Vol. 8, No 3. – P. 1035–1042.
 17. Titelman G.I. Characteristics and microstructure of aqueous colloidal dispersions of graphite oxide / G.I. Titelman, V. Gelman, S. Bron, R.L. Khalfin, Y. Cohen, H. Bianco-Peled // *Carbon*. – 2005. – Vol. 43. – P. 641–648.
 18. Stankovich S. Graphene-based composite materials / S. Stankovich, R.D. Piner, S.T. Nguyen, R.S. Ruoff // *Carbon*. – 2006. – Vol. 44. – P. 3342–3348.
 19. Nikkhah S.J. Investigation of the interface between polyethylene and functionalized graphene: A computer simulation study / S.J. Nikkhah, M.R. Moghbeli, S.M. Hashemianzadeh // *Curr Appl Phys*. – 2015. – Vol. 15. – P. 1188–1199.
 20. Upadhyay R. Modulation of Protein Adsorption and Cell Proliferation on Polyethylene Immobilized Graphene Oxide Reinforced HDPE Bionanocomposites / R. Upadhyay, S. Naskar, N. Bhaskar, S. Bose, B. Basu // *Acs Applied Materials & Interfaces*. – 2016. – Vol. 8. – P. 11954–11968.
 21. Hui J. Influences of interfacial adhesion on gas barrier property of functionalized graphene oxide/ultra-high-molecular-weight polyethylene composites with segregated structure / J. Hui, P.G. Ren, Z.F. Sun, F. Ren, L. Xu, Z.P. Zhang, et al // *Compos Interface*. – 2017. – Vol. 24. – P. 729–741.

Пахалиук Владимир Иванович

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник
научной лаборатории «Биомеханика»,
ул. Университетская 33, г. Севастополь, 299053
Тел. +7 978 764 06 00
E-mail: pahaluk@sevsu.ru

Поляков Александр Михайлович

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник
научной лаборатории «Биомеханика»,
ул. Университетская 33, г. Севастополь, 299053
Тел. +7 978 703 88 26
E-mail: a.m.poljakov@sevsu.ru

V.I. PAKHALIUK, A.M. POLIAKOV

STUDY OF THE UHMWPE SURFACE TRIBOLOGY AFTER GRAPHENE OXIDE DEPOSITION

Abstract. *The article is devoted to the study of the process for improving the tribological characteristics of the films surface made of ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) by sputtering a layer of graphene oxide on them from a water-alcohol suspension. The relevance of the study is associated with a wide interest in the use of UHMWPE in medicine in the design of total knee and hip replacements. A technology has been developed for preparing a suspension and applying a coating to the surface of UHMWPE samples. After deposition of a graphene oxide layer on the sample surface, to stabilize and cross-link the deposited layer, the sample was treated in helium plasma at reduced*

pressure. It has been experimentally shown that the deposition of a graphene oxide coating on the surface followed by UHMWPE plasma treatment reduces the dynamic coefficient of sliding friction by more than three times (from 0.092 to 0.027), but no significant increase in coating adhesion due to plasma treatment was observed.

Keywords: graphene oxide, UHMWPE, low-pressure plasma, total hip replacement (THR), wear resistance, coefficient of friction.

BIBLIOGRAPHY

1. Laska, A. Comparison of conventional and crosslinked ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) used in hip implant / A. Laska // *World Sci News*. – 2017. – Vol. 73. – P. 51–60.
2. Dougherty, P.S.M. An investigation of the wear mechanism leading to self-replenishing transfer films / P.S. M. Dougherty, R. Pudjoprawoto, C.F. Higgs // *Wear*. – 2011. – Vol. 272. – P. 122–132.
3. Rhee, S.H. Mechanisms of formation of polymeric transfer films / S.H. Rhee, K.C. Ludema // *Wear*. – 1978. – Vol. 46. – P. 231–240.
4. Schwartz, C.J. Studies on the tribological behavior and transfer film-counterface bond strength for polyphenylene sulfide filled with nanoscale alumina particles / C.J. Schwartz, S. Bahadur // *Wear*. – 2000. – Vol. 237. – P. 261–273.
5. Bahadur, S. The development of transfer layers and their role in polymer tribology / S. Bahadur // *Wear*. – 2000. – Vol. 245. – P. 92–99.
6. Poliakov, A. Current Trends in Improving of Artificial Joints Design and Technologies for Their Arthroplasty / A. Poliakov, V. Pakhaliuk, V.L. Popov // *Frontiers in Mechanical Engineering*. – 2020. – Vol. 6. – Art. 4. – 16 p.
7. Baena, J.C. Wear Performance of UHMWPE and Reinforced UHMWPE Composites in Arthroplasty Applications: A Review / J.C. Baena, J. Wu, Z. Peng // *Lubricants*. – 2015. – Vol. 3. – P. 413–436.
8. McKellop, H. Development of an extremely wear-resistant ultra-high molecular weight polyethylene for total hip replacements / H. McKellop, F.W. Shen, B. Lu, P. Campbell, R. Salovey // *J Orthop Res*. – 1999. – Vol. 17, No 2. – P. 157–67.
9. Bakshi, S.R. Synthesis and characterization of multiwalled carbon nanotube reinforced ultra-high molecular weight polyethylene composite by electrostatic spraying technique / S.R. Bakshi, J.E. Tercero, A. Agarwal // *Compos Part A*. – 2007. – Vol. 38, No 12. – P. 2493–2499.
10. Kumar, R.M. Effects of carbon nanotube aspect ratio on strengthening and tribological behavior of ultra-high molecular weight polyethylene composite / R.M. Kumar, S. Kumar, B.V.M. Kumar, D. Lahiri // *Compos Part A*. – 2015. – Vol. 76. – P. 62–72.
11. Tai, Z. Tribological behavior of UHMWPE reinforced with graphene oxide nanosheets / Z. Tai, Y. Chen, Y. An, X. Yan, Q. Xue // *Tribol Lett*. – 2012. – Vol. 46, No 1. – P. 55–63.
12. Bhattacharyya, A. Graphene reinforced ultra-high molecular weight polyethylene with improved tensile strength and creep resistance properties / A. Bhattacharyya, S. Chen, M. Zhu // *Express Polym Lett*. – 2014. – Vol. 8, No 2. – P. 74–84.
13. Liu, H. Surface modification of ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) by argon plasma / H. Liu, Y. Pei, D. Xie, X. Deng, Y.X. Leng, Y. Jin, N. Huang // *Applied Surface Science*. – 2010. – Vol. 256, No 12. – P. 3941–3945.
14. Chih, A., Anson-Casaos A, Puertolas J A. Frictional and mechanical behaviour of graphene/UHMWPE composite coatings / A. Chih, A. Anson-Casaos, J.A. Puertolas // *Tribol Int*. – 2017. – Vol. 116. – P. 295–302.
15. Chu, P.K. Plasma-surface modification of biomaterials / P.K. Chu, J.Y. Chen, L.P. Wang, N. Huang // *Mater Sci Eng*. – 2002. – Vol. 36. – P. 143–206.
16. Pakhaliuk, V.I. Reducing the wear of the UHMWPE used in the total hip replacement after low-pressure plasma treatment / V.I. Pakhaliuk, V.N. Vasilets, A.M. Poliakov, N.A. Torkhov // *J Appl Comput Mech*. – 2022. – Vol. 8, No 3. – P. 1035–1042.
17. Titelman G.I. Characteristics and microstructure of aqueous colloidal dispersions of graphite oxide / G.I. Titelman, V. Gelman, S. Bron, R.L. Khalfin, Y. Cohen, H. Bianco-Peled // *Carbon*. – 2005. – Vol. 43. – P. 641–648.
18. Stankovich S. Graphene-based composite materials / S. Stankovich, R.D. Piner, S.T. Nguyen, R.S. Ruoff // *Carbon*. – 2006. – Vol. 44. – P. 3342–3348.
19. Nikkhah S.J. Investigation of the interface between polyethylene and functionalized graphene: A computer simulation study / S.J. Nikkhah, M.R. Moghbeli, S.M. Hashemianzadeh // *Curr Appl Phys*. – 2015. – Vol. 15. – P. 1188–1199.
20. Upadhyay R. Modulation of Protein Adsorption and Cell Proliferation on Polyethylene Immobilized Graphene Oxide Reinforced HDPE Bionanocomposites / R. Upadhyay, S. Naskar, N. Bhaskar, S. Bose, B. Basu // *ACS Applied Materials & Interfaces*. – 2016. – Vol. 8. – P. 11954–11968.
21. Hui J. Influences of interfacial adhesion on gas barrier property of functionalized graphene oxide/ultra-high-molecular-weight polyethylene composites with segregated structure / J. Hui, P.G. Ren, Z.F. Sun, F. Ren, L. Xu, Z.P. Zhang, et al // *Compos Interface*. – 2017. – Vol. 24. – P. 729–741.

Pakhaliuk Vladimir Ivanovich

FSAEI HE “Sevastopol State University”,
Ph.D., Associate Professor, Leading researcher of the
"Biomechanics" research laboratory,

Poliakov Aleksandr Mikhailovich

FSAEI HE “Sevastopol State University”,
Ph.D., Associate Professor, Leading researcher of the
"Biomechanics" research laboratory,

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

ИЗУЧЕНИЕ ИЗНОСА КОНТАКТНОЙ ПАРЫ ТИПА СТАЛЬ/СТАЛЬ СО СФЕРИЧЕСКОЙ И ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Аннотация. Одна из актуальных задач трибологии состоит в изучении процессов износа материалов и оценке факторов, оказывающих влияние на их интенсивность. Основная проблема, стоящая на пути ее решения заключается в том, что износ зависит от множества факторов и его проявление может быть весьма разнообразным, что подтверждается результатами экспериментальных исследований и практикой эксплуатации технических систем. Однако изучение влияния конкретного фактора, определяющего форму проявления износа, может быть выполнено приближенно с использованием, так называемых, модельных испытаний. Целью данной работы является изучение на основе модельных испытаний износа контактной пары типа сталь/сталь со сферической и плоской поверхностями. В качестве контактных тел со сферическими поверхностями используются стальные цилиндрические образцы со сферическими головками, а в качестве тел с плоскими поверхностями – сплошные стальные прямоугольные профили. Основное внимание в исследованиях уделяется изучению скорости износа стали в зависимости от контактного давления и изменения поверхностей контактных зон, зависящих от пройденного пути трения.

Ключевые слова: Трибология, трение, износ, скорость износа, моделирование износа, закон Рэя-Арчарда-Хрущева.

Авторы выражают признательность заведующему лабораторией «Динамика систем и физики трения» Берлинского технического университета и научному руководителю автора данной статьи Гюттлеру Ш.М. д.т.н. профессору Попову В.Л. за высокопрофессиональные консультации и возможность использования испытательного оборудования лаборатории для проведения экспериментального исследования, представленного в данной работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Siebel, E. Verschleißerscheinungen bei gleitender trockener Reibung / E. Siebel, R. Kobitzsch. – Berlin: VDI-Verlag GMBH, 1941. – 40 s.
2. Deters, L. GfT-Arbeitsblatt 7 / L. Deters, L.A. Fischer, E. Santner, U. Stolz. – Aachen: Gesellschaft für Tribologie, 2002. – 52 s.
3. Popov, V.L. Kontaktmechanik und Reibungsphysik / V.L. Popov. – Berlin: Springer, 2009. – 253 s.
4. Czichos, H. Tribologie-Handbuch. Tribometrie, Tribomaterialien, Tribotechnik, 3 Hrgs. / H. Czichos, K.-H. Habig. – Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2010. – 794 s.
5. Milahin, N. Friction and wear of a spherical indenter under influence of out-of-plane ultrasonic oscillations / N. Milahin, Q. Li // Физическая мезомеханика. – 2015. - №18. – С. 38-41.
6. Lim, S. C. Overview No. 55. Wear-Mechanismmaps / S.C. Lim, M.F. Ashby // Acta Metallurgica. – 1987, Vol. 35. – P. 1-24.
7. Lim, S.C. Wear-rate transitions and their relationship to wear mechanisms / S.C. Lim, M.F. Ashby, J.H. Brunton // Acta Metallurgica. – 1987, Vol. 35. – P. 1343-1348.
8. Sommer, K. Verschleiß metallischer Werkstoffe / K. Sommer, R. Heinz, J. Schöfer. – Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2010. – 599 s.
9. Bender, V. Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau 1: Grundlagen und Tabellen / V. Bender, D. Gühlich. – Berlin: Springer Vieweg, 2020. – 1068 s.
10. Bowden, F. The Friction and Lubrication of Solids, Vol. 1 / F.P. Bowden, D. Tabor. – Oxford: Clarendon Press, 2001. – 374 p.

Гюттлер Шон Маркус
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
вагистрант 2-го курса направления подготовки
12.04.04,
ул. Университетская 33, г. Севастополь, 299053
Тел. +7 978 703 88 26
E-mail: sean.guettler@yandex.com

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

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

**STUDY OF WEAR OF CONTACT PAIR TYPE STEEL/STEEL
WITH SPHERICAL AND FLAT SURFACES**

Abstract. *One of urgent tribology tasks is to study the processes of materials wear and to evaluate factors influencing their intensity. The main problem standing in the way of its solution is that wear depends on many factors and its manifestation can be very diverse, which is confirmed by the results of experimental studies and the practice of operating technical systems. However, the study of the influence of a particular factor that determines the form of manifestation of wear can be performed approximately using so-called model tests. The aim of this work is to study the wear of a steel/steel type contact pair with spherical and flat surfaces on the basis of model tests. Steel cylindrical samples with spherical heads are used as contact bodies with spherical surfaces, and solid steel rectangular profiles are used as bodies with flat surfaces. The main attention in the research is paid to the study of the wear rate of steel depending on the contact pressure and changes in the surfaces of the contact zones, depending on the friction path traveled.*

Keywords: *Tribology, friction, wear, wear rate, wear modeling, Ray-Archard-Khrushchev law.*

BIBLIOGRAPHY

1. Siebel, E. Verschleißerscheinungen bei gleitender trockener Reibung / E. Siebel, R. Kobitzsch. – Berlin: VDI-Verlag GMBH, 1941. – 40 s.
2. Deters, L. GfT-Arbeitsblatt 7 / L. Deters, L.A. Fischer, E. Santner, U. Stolz. – Aachen: Gesellschaft für Tribologie, 2002. – 52 s.
3. Popov, V.L. Kontaktmechanik und Reibungsphysik / V.L. Popov. – Berlin: Springer, 2009. – 253 s.
4. Czichos, H. Tribologie-Handbuch. Tribometrie, Tribomaterialien, Tribotechnik, 3 Hrsg. / H. Czichos, K.-H. Habig. – Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2010. – 794 s.
5. Milahin, N. Friction and wear of a spherical indenter under influence of out-of-plane ultrasonic oscillations / N. Milahin, Q. Li // Физическая мезомеханика. – 2015. - №18. – С. 38-41.
6. Lim, S. C. Overview No. 55. Wear-Mechanismmaps / S.C. Lim, M.F. Ashby // Acta Metallurgica. – 1987, Vol. 35. – P. 1-24.
7. Lim, S.C. Wear-rate transitions and their relationship to wear mechanisms / S.C. Lim, M.F. Ashby, J.H. Brunton // Acta Metallurgica. – 1987, Vol. 35. – P. 1343-1348.
8. Sommer, K. Verschleiß metallischer Werkstoffe / K. Sommer, R. Heinz, J. Schöfer. – Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2010. – 599 s.
9. Bender, B. Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau 1: Grundlagen und Tabellen / B. Bender, D. Gühlich. – Berlin: Springer Vieweg, 2020. – 1068 s.
10. Bowden, F. The Friction and Lubrication of Solids, Vol. 1 / F.P. Bowden, D. Tabor. – Oxford: Clarendon Press, 2001. – 374 p.

Gyuttler Shon Markus

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
vagistrant 2-go kursa napravleniya podgotovki 12.04.04, ul. Universitetskaya 33, g. Sevastopol', 299053
Tel. +7 978 703 88 26
E-mail: sean.gyuttler@yandex.com

Polyakov Aleksandr Mixajlovich

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
к.т.н., docent, v.n.s., NL «Биомеханика»,
ул. Университетская 33, g. Sevastopol', 299053
Tel. +7 978 703 88 26
E-mail: a.m.poljakov@sevsu.ru

Paxalyuk Vladimir Ivanovich

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
к.т.н., docent, v.n.s. NL «Биомеханика»,
ул. Университетская 33, g. Sevastopol', 299053
Tel. +7 978 764 06 00
E-mail: pahaluk@sevsu.ru

Bugaev Pavel Aleksandrovich

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
к.т.н., docent kaf. «Судовождение и безопасность судоходства»
ул. Университетская 33, g. Sevastopol', 299053
Tel. +7 978 855 61 40

А.И. ГОРШКОВ, Е.Н. ГРИБАНОВ, О.И. МАРКОВ, Э.Р. ОСКОТСКАЯ, И.В. РОДИЧЕВА

ПОЛУЧЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ АЛЮМОСИЛИКАТОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МЕХАТРОННЫХ УЗЛОВ

Аннотация. В работе проведен электрохимический синтез защитного алюмосиликатного покрытия на алюминии в электролитах, содержащих метасиликат натрия и гидроксид натрия различной концентрации. Методами рентгеноспектрального анализа, инфракрасной спектроскопии, металлографии и атомно-силовой микроскопии изучена природа и морфология поверхности полученных покрытий. Установлена зависимость характеристик поверхности от концентрации щелочи в растворе электролита и от величины приложенного напряжения. Предложен механизм процесса нанесения защитного покрытия на поверхность алюминия. Полученные защитные покрытия обладают достаточной механической прочностью и повышают устойчивость алюминия к агрессивным средам. Полученные данные представляют интерес в мехатронике при увеличении износостойкости деталей мехатронных узлов.

Ключевые слова: защитные покрытия, мехатронный узел, алюмосиликаты, электролиз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yasakau K.A., Tedim J., Zheludkevich M.L., Ferreira M.G.S. Handbook of Smart Coatings for Materials Protection: Smart coatings for corrosion protection: an overview. Cambridge: Woodhead Publishing, 2014. P. 224–274
2. Бантураби, С. А. Мировой рынок алюминия и роль государства в развитии алюминиевой промышленности / С. А. Бантураби // XXX Международные Плехановские чтения: Сборник статей аспирантов и молодых ученых, Москва, 14 марта 2017 года. – Москва: Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, 2017. – С. 267-271.
3. Хазанов, Л. Г. Перспективы роста потребления алюминия, в том числе в автомобильной промышленности / Л. Г. Хазанов // Технология колесных и гусеничных машин. – 2012. – № 3. – С. 39-41.
4. Свойства и применение механических соединений типа штифт с обжимной головкой для грузовых вагонов из алюминиевого сплава марки 1565ч / А. Д. Конюхов, А. М. Дриц, А. К. Шуртаков, Т. Н. Воробьева // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2014. – № 3. – С. 9-16.
5. C50L HuckBolt. Huck-engineered lockbolts for the most challenging applications. Waco, Alcoa Fastening Systems, 2012. 8 p.
6. Mori, R. A new structured aluminium-air secondary battery with a ceramic aluminium ion conductor / R. Mori // RSC Advances. – 2013. – Vol. 3, No. 29. – P. 11547-11551. – DOI 10.1039/c3ra42211a
7. Study of Plasma Electrolytic Oxidation Coatings on Aluminum Composites / L. Agureev, S. Savushkina, A. Ashmarin [et al.] // Metals. – 2018. – Vol. 8, No. 6. – P. 459. – DOI 10.3390/met8060459
8. Formation of Wear- and Corrosion-Resistant Coatings by the Microarc Oxidation of Aluminum / M. A. Markov, A. D. Bykova, A. V. Krasikov [et al.] // Refractories and Industrial Ceramics. – 2018. – Vol. 59, No. 2. – P. 207-214. – DOI 10.1007/s11148-018-0207-3.
9. Formation of protective coatings on amg3 aluminum alloy using fluoropolymer nanopowder / V. S. Filonina, K. V. Nadaraia, D. V. Mashtalyar [et al.] // Solid State Phenomena. – 2020. – Vol. 312. – P. 330-334. – DOI 10.4028/www.scientific.net/SSP.312.330.
10. Hamdy, K. Coatings-electrodes for processing dielectric aluminum oxide ceramics on a wire electrical discharge machine / K. Hamdy, A. A. Okunkova, S. V. Fedorov // Journal of Physics: Conference Series: 15, Saint Petersburg, 18–20 мая 2021 года. – Saint Petersburg, 2021. – P. 012011. – DOI 10.1088/1742-6596/1954/1/012011.
11. Structure and properties of tantalum coatings obtained by electron beam technology on aluminum substrates / K. Ananiashvili, M. Okrosashvili, T. Loladze [et al.] // – 2020. – Vol. 10, No. 11. – P. 3737. – DOI 10.3390/app10113737.
12. Atmospheric plasma deposition of glass coatings on aluminum / A. Ladwig, S. Babayan, M. Smith [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2007. – Vol. 201, No. 14. – P. 6460-6464. – DOI 10.1016/j.surfcoat.2006.12.018.
13. Scamans G.M., Birbilis N., Buchheit R.G. Shreir's Corrosion. Corrosion of aluminum and its alloys. Amsterdam: Elsevier, 2010. 1973 p.
14. Matykina E., Arrabal R., Pardo A. et al. Energy-Efficient PEO Process of Aluminium Alloys // Mater. Lett. 2014. V. 127. P. 13–16.

15. Guan Y., Xia Y., Li G. Growth Mechanism and Corrosion Behavior of Ceramic Coatings on Aluminum Produced by Autocontrol AC PULSE PEO // Surf. Coat. Technol. 2008. V. 202. P. 4602–4612.
16. Liao, Ruijin & Zhiping, Zuo & Guo, Chao & Yuan, Yuan & Zhuang, Aoyun. Fabrication of superhydrophobic surface on aluminum by continuous chemical etching and its anti-icing property. Applied Surface Science. – 2016 - 317. 701-709. 10.1016/j.apsusc.2014.08.187.
17. Varshney, Priya & Mohapatra, Soumya & Kumar, Aditya. Superhydrophobic coatings for aluminium surfaces synthesized by chemical etching process. International Journal of Smart and Nano Materials. - 2016 –Vol. 7. p. 1-17. 10.1080/19475411.2016.1272502.
18. Gulicovski, Jelena & Bajat, Jelena & Jokić, B. & Panić, Vladimir & Miskovic-Stankovic, Vesna & Milonjic, Slobodan. Protective ability and impedance response of sol–gel reversely transformed ceria conversion coating on aluminium. Journal of Solid State Electrochemistry. – 2016 – p. 20. 10.1007/s10008-015-3040-3.
19. Zuo, Min & Wu, Tingting & Xu, Kegeng & Liu, Shiquan & Zhao, Degang & Geng, Haoran. Sol–gel route to ceria coatings on AA2024-T3 aluminum alloy. Journal of Coatings Technology and Research. – 2014 – Vol. 12. p.75-83. 10.1007/s11998-014-9621-8.
20. Tomasz, Tański & Lukaszewicz, K. Structure and properties of PVD coatings deposited on aluminium alloys. Surface Engineering. – 2012 – Vol. 28. p. 598-604. 10.1179/1743294412Y.0000000033.
21. Jinsub Choi. Fabrication of monodomain porous alumina using nanoimprint lithography and its applications: Dissertation...Doktor-Ingenieur. 2004. 103 p.

Горшков Александр Игоревич

ФГБОУ ВО ОГУ им. И.С. Тургенева
Адрес: г. Орел, ул. Комсомольская, 95
старший преподаватель
E-mail: gorshkov.a.i@yandex.ru

Марков Олег Иванович

ФГБОУ ВО ОГУ им. И.С. Тургенева
Адрес: г. Орел, ул. Комсомольская, 95
д.ф.-м.н., доцент, зав.кафедрой
экспериментальной и теоретической физики
E-mail: o.i.markov@mail.ru

Грибанов Евгений Николаевич

ФГБОУ ВО ОГУ им. И.С. Тургенева
Адрес: г. Орел, ул. Комсомольская, 95
к.х.н., доцент, зав. кафедрой химии
E-mail: gribanoven@gmail.com

Оскотская Эмма Рафаиловна

ФГБОУ ВО ОГУ им. И.С. Тургенева
Адрес: г. Орел, ул. Комсомольская, 95
д.х.н., профессор, профессор
E-mail: oskotskaya@yandex.ru

Родичева Ирина Владимировна

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

A.I. GORSHKOV, E.N. GRIBANOV, O.I. MARKOV, E.R. OSKOTSKAYA

OBTAINING COATINGS BASED ON ALUMINOSILICATES TO PROTECT MECHATRONIC ASSEMBLIES

Abstract. *The electrochemical synthesis of a protective aluminosilicate coating on aluminum in electrolytes containing sodium metasilicate and sodium hydroxide of various concentrations was carried out in the potentiostatic mode. X-ray spectral analysis, infrared spectroscopy, metallography and atomic force microscopy have been used to study the nature and morphology of the surface of the obtained coatings. The dependence of the surface characteristics on the concentration of alkali in the electrolyte solution and on the magnitude of the applied voltage is established. The chemistry of the process of applying a protective coating to the surface of aluminum is proposed. The resulting protective coatings have sufficient mechanical strength and increase the resistance of aluminum to aggressive environments. The data obtained are of interest in mechatronics with an increase in the wear resistance of parts of mechatronic assemblies.*

Keywords: *protective coatings, mechatronic node, aluminosilicates, electrolysis.*

BIBLIOGRAPHY

1. Yasakau K.A., Tedim J., Zheludkevich M.L., Ferreira M.G.S. Handbook of Smart Coatings for Materials Protection: Smart coatings for corrosion protection: an overview. Cambridge: Woodhead Publishing, 2014. P. 224–274
2. Banturabi, S. A. The world aluminum market and the role of the state in the development of the aluminum industry / S. A. Banturabi // XXX International Plekhanov Readings: A collection of articles by graduate students and young scientists, Moscow, March 14, 2017. – Moscow: Plekhanov Russian University of Economics, 2017. –pp.267-271.

3. Khazanov, L. G. Prospects for the growth of aluminum consumption, including in the automotive industry / L. G. Khazanov // *Technology of wheeled and tracked vehicles*. – 2012. – No. 3. – pp. 39-41.
4. Properties and application of mechanical joints of the pin type with a crimping head for freight cars made of aluminum alloy of the 1565ch brand / A.D. Konyukhov, A.M. Drits, A. K. Shurtakov, T. N. Vorobyova // *Bulletin of the Research Institute of Railway Transport*. – 2014. – No. 3. – pp. 9-16.
5. C50L HuckBolt. Huck-engineered lockbolts for the most challenging applications. Waco, Alcoa Fastening Systems, 2012. 8 p.
6. Mori, R. A new structured aluminium-air secondary battery with a ceramic aluminium ion conductor / R. Mori // *RSC Advances*. – 2013. – Vol. 3, No. 29. – P. 11547-11551. – DOI 10.1039/c3ra42211a
7. Study of Plasma Electrolytic Oxidation Coatings on Aluminum Composites / L. Agureev, S. Savushkina, A. Ashmarin [et al.] // *Metals*. – 2018. – Vol. 8, No. 6. – P. 459. – DOI 10.3390/met8060459
8. Formation of Wear- and Corrosion-Resistant Coatings by the Microarc Oxidation of Aluminum / M. A. Markov, A. D. Bykova, A. V. Krasikov [et al.] // *Refractories and Industrial Ceramics*. – 2018. – Vol. 59, No. 2. – P. 207-214. – DOI 10.1007/s11148-018-0207-3.
9. Formation of protective coatings on amg3 aluminum alloy using fluoropolymer nanopowder / V. S. Filonina, K. V. Nadaraia, D. V. Mashtalyar [et al.] // *Solid State Phenomena*. – 2020. – Vol. 312. – P. 330-334. – DOI 10.4028/www.scientific.net/SSP.312.330.
10. Hamdy, K. Coatings-electrodes for processing dielectric aluminum oxide ceramics on a wire electrical discharge machine / K. Hamdy, A. A. Okunkova, S. V. Fedorov // *Journal of Physics: Conference Series: 15*, Saint Petersburg, 18–20 may 2021. – Saint Petersburg, 2021. – P. 012011. – DOI 10.1088/1742-6596/1954/1/012011.
11. Structure and properties of tantalum coatings obtained by electron beam technology on aluminum substrates / K. Ananiashvili, M. Okrosashvili, T. Loladze [et al.] // – 2020. – Vol. 10, No. 11. – P. 3737. – DOI 10.3390/app10113737.
12. Atmospheric plasma deposition of glass coatings on aluminum / A. Ladwig, S. Babayan, M. Smith [et al.] // *Surface and Coatings Technology*. – 2007. – Vol. 201, No. 14. – P. 6460-6464. – DOI 10.1016/j.surfcoat.2006.12.018.
13. Scamans G.M., Birbilis N., Buchheit R.G. *Shreir's Corrosion. Corrosion of aluminum and its alloys*. Amsterdam: Elsevier, 2010. 1973 p.
14. Matykina E., Arrabal R., Pardo A. et al. Energy-Efficient PEO Process of Aluminium Alloys // *Mater. Lett.* 2014. V. 127. P. 13–16.
15. Guan Y., Xia Y., Li G. Growth Mechanism and Corrosion Behavior of Ceramic Coatings on Aluminum Produced by Autocontrol AC PULSE PEO // *Surf. Coat. Technol.* 2008. V. 202. P. 4602–4612.
16. Liao, Ruijin & Zhiping, Zuo & Guo, Chao & Yuan, Yuan & Zhuang, Aoyun. Fabrication of superhydrophobic surface on aluminum by continuous chemical etching and its anti-icing property. *Applied Surface Science*. – 2016 - 317. 701-709. 10.1016/j.apsusc.2014.08.187.
17. Varshney, Priya & Mohapatra, Soumya & Kumar, Aditya. Superhydrophobic coatings for aluminium surfaces synthesized by chemical etching process. *International Journal of Smart and Nano Materials*. - 2016 –Vol. 7. p. 1-17. 10.1080/19475411.2016.1272502.
18. Gulicovski, Jelena & Bajat, Jelena & Jokić, B. & Panić, Vladimir & Miskovic-Stankovic, Vesna & Milonjic, Slobodan. Protective ability and impedance response of sol–gel reversely transformed ceria conversion coating on aluminium. *Journal of Solid State Electrochemistry*. – 2016 – p. 20. 10.1007/s10008-015-3040-3.
19. Zuo, Min & Wu, Tingting & Xu, Kegeng & Liu, Shiquan & Zhao, Degang & Geng, Haoran. Sol–gel route to ceria coatings on AA2024-T3 aluminum alloy. *Journal of Coatings Technology and Research*. – 2014 – Vol. 12. p.75-83. 10.1007/s11998-014-9621-8.
20. Tomasz, Tański & Lukaszkowicz, K. Structure and properties of PVD coatings deposited on aluminium alloys. *Surface Engineering*. – 2012 – Vol. 28. p. 598-604. 10.1179/1743294412Y.0000000033.
21. Jinsub Choi. *Fabrication of monodomain porous alumina using nanoimprint lithography and its applications: Dissertation...Doktor-Ingenieur*. 2004. 103 p.

Gorshkov Aleksander Igorevich

OSU named after I.S. Turgenev
Address: Orel, Komsomolskaya str., 95
senior lecturer
E-mail: gorshkov.a.i@yandex.ru

Markov Oleg Ivanovich

OSU named after I.S. Turgenev
Address: Orel, Komsomolskaya str., 95
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor, Associate Professor
head of the department of Theoretical and experimental physics
E-mail: o.i.markov@mail.ru

Gribanov Evgeny Nikolaevich

OSU named after I.S. Turgenev
Address: Orel, Komsomolskaya str., 95
Candidate of Chemical Sciences,
associate professor,
head of the department of Chemistry
E-mail: gribanoven@gmail.com

Oskotskaya Emma Rafailovna

OSU named after I.S. Turgenev
Address: Orel, Komsomolskaya str., 95
Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor
E-mail: osckotskaya@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

© А.И. Горшков, Е.Н. Грибанов, О.И. Марков, Э.Р. Оскотская, И.В. Родичева, 2023

УДК 621.822

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-359-3-126-136

А.В. СЫТИН, С.А. ВЛАСОВА, А.В. ГОРИН, А.Д. СЕРЕБРЕННИКОВ

ПРИМЕНЕНИЕ БИМОРФНЫХ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИНИМАЛЬНОГО ИЗНОСА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЛЕПЕСТКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ

Аннотация. в статье рассматриваются основные причины, сопутствующие износу упругих элементов лепестковых подшипников, что напрямую связано с уменьшением ресурса функционирования роторно-опорной системы. Авторы предлагают в качестве упругих элементов – многослойные лепестки с применением биморфных пьезоэлектрических элементов, работающих в режиме генератора для определения деформаций упругих элементов, а также в режиме актуатора для формирования оптимальной опорной поверхности. Представлены основные способы, особенности и основные характеристики подключения биморфов к источнику питания. Предложена концепция многослойных упругих элементов, технологический процесс их изготовления и результаты практической реализации в виде радиального и осевого мехатронных многолепестковых газодинамических подшипников с биморфными пьезоэлектрическими лепестками. Представлена математическая модель данных видов опор на основании уравнения Рейнольдса для слоя газовой смазки, а также уравнений теории упругости и пьезоэлектрического эффекта. Опорная поверхность каждого упругого элемента описана моментной теорией тонкостенных незамкнутых цилиндрических оболочек для радиального подшипника и уравнением Софи-Жермен для тонких пластин в случае осевого подшипника, влияние биморфных пьезоэлементов задано граничными условиями на свободной образующей каждого лепестка.

Ключевые слова: лепестковый газовый подшипник (ЛГП); износ упругих элементов; ресурс роторно-опорной системы; биморфный упругий элемент; активное управление; пьезоэлемент.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент JPH № 0454309. GASBEARING / Tsumaki Nobuo. Оpubл. 21.02.1992.
2. Хайманн Б., Герг В., Попп К., Репецкий О. Мехатроника: Компоненты, методы, примеры: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. – 602 с.
3. М.А. Нуриев, А.М. Магеррамов, М.А. Курбанов, Р.С. Исмаилова, Х.А. Садыхов Об особенностях пьезоэлектричества в полимерных композициях с неоднородной поляризацией
4. G.K.S Prakash Raju, P Ashok Kumar, K Srinivasa Rao, Vanaja Aravapalli. Design and Simulation of Cantilever Based MEMS Bimorph Piezoelectric Energy Harvester Mechanics, Materials Science & Engineering Journal, Magnolithe, 2017, 9 (1).
5. Софронов Алексей, Никифоров Виктор, Климашин Виталий Биморфные пьезоэлектрические элементы: актуаторы и датчики // Компоненты и Технологии. 2003. №30. С.46-48.
- 7 Micky Rakotondrabe, Ioan Ivan. Principle, characterization and control of a new hybrid thermo-piezoelectric microactuator.. IEEE. IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA'10., May 2010, Anchorage - Alaska, United States. sur CD ROM, pp.1580-1585, 2010.
8. Sharapov, V. (2011) Piezoceramic sensors, Springer Verlag, Heidelberg, Dordrecht, London, New York, 498 p.
9. Хешмет Х., Уоловит Дж. А., Пинкус О. Анализ газового ленточного радиального подшипника // Проблемы трения и смазки. –1983. –Т.105. –№4. – С. 124-132.
10. Пешти Ю.В. Газовая смазка / Ю.В. Пешти // М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1993.– 382 с.
11. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластины и оболочки. – М.: Наука, 1966. – 636 с.
12. Колкунов Н.В. Основы расчета упругих оболочек. Изд. 2-е переработ. и доп. Учеб. Пособие для вузов. М., «Высш. школа», 1972 – 296 с.
13. Бобцов А.А., Бойков В.И., Быстров С.В., Григорьев В.В. Исполнительные устройства и системы для микроперемещений. - СПб ГУ ИТМО, 2011.- 131 с.
14. Piezoelectric Actuators Components, Technologies, Operation [Электронный ресурс] // Режим доступа: URL: <http://www.piezo.ws/pdf/Piezo.pdf> (дата обращения: 29.09.2017).
15. Сытин А.В. Решение комплексной задачи расчета характеристик радиальных лепестковых газодинамических подшипников: дис. канд. техн. наук: 01.02.06 / Сытин Антон Валерьевич. - Орёл, 2008. – 201 с.

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

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

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

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

A.V. SITIN, V.S. VLASOVA, A.V. GORIN, A.D. SEREBRENNIKOV

APPLICATION OF BIMORPHOUS ELASTIC ELEMENTS TO ENSURE MINIMUM WEAR ON THE WORKING SURFACE OF THE FLAP BEARINGS

Abstract. *The article discusses the main causes associated with the wear of the elastic elements of the petal bearings, which is directly related to the decrease in the service life of the rotor-support system. The authors propose as elastic elements - multilayer petals with the use of bimorph piezoelectric elements operating in the generator mode to determine the deformations of the elastic elements, as well as in the actuator mode to form the optimal supporting surface. The main methods, features and main characteristics of connecting bimorphs to a power source are presented. The concept of multilayer elastic elements, the technological process of their manufacture and the results of practical implementation in the form of radial and axial mechatronic multi-lobe gas-dynamic bearings with bimorph piezoelectric petals are proposed. A mathematical model of these types of supports is presented based on the Reynolds equation for a layer of gas lubricant, as well as the equations of the theory of elasticity and the piezoelectric effect. The bearing surface of each elastic element is described by the moment theory of thin-walled non-closed cylindrical shells for a radial bearing and the Sophie-Germain equation for thin plates in the case of an axial bearing, the influence of bimorph piezoelements is given by the boundary conditions on the free generatrix of each petal*

Keywords: *petal gas bearing; wear of elastic elements; resource of the rotary support system; bimorph elastic element; active management; piezo element.*

BIBLIOGRAPHY

1. JPH Patent No. 0454309. GASBEARING / Tsumaki Nobuo. Published 02/21/1992.
2. Heimann B., Gert V., Popp K., Repetsky O. Mechatronics: Components, methods, examples: Proc. allowance. - Novosibirsk: Publishing house of SO RAN, 2010. - 602 p.
3. M.A. Nuriev, A.M. Magerramov, M.A. Kurbanov, R.S. Ismailova, Kh.A. Sadikhov On the Peculiarities of Piezoelectricity in Polymer Compositions with Nonuniform Polarization
4. G.K.S Prakash Raju, P Ashok Kumar, K Srinivasa Rao, Vanaja Aravapalli. Design and Simulation of Cantilever Based MEMS Bimorph Piezoelectric Energy Harvester. Mechanics, Materials Science & Engineering Journal, Magnolithe, 2017, 9(1).
5. Alexey Sofronov, Victor Nikiforov, Vitaly Klimashin Bimorphic piezoelectric elements: actuators and sensors // Components and Technologies. 2003. No. 30. pp.46-48.
- 7 Micky Rakotondrabe, Ioan Ivan. Principle, characterization and control of a new hybrid thermo-piezoelectric microactuator.. IEEE. IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA'10., May 2010, Anchorage - Alaska, United States. sur CD ROM, pp.1580-1585, 2010.
8. Sharapov, V. (2011) Piezoceramic sensors, Springer Verlag, Heidelberg, Dordrecht, London, New York, 498 p.
9. Heshmet H., Walovit J. A., Pinkus O. Analysis of a gas belt radial bearing // Problems of friction and lubrication. -1983. -T.105. - No. 4. - S. 124-132.
10. Peshti Yu.V. Gas lubricant / Yu.V. Pest // M.: MSTU im. N.E. Bauman, 1993.- 382 p.
11. Timoshenko S.P., Voinovsky-Krieger S. Plates and shells. - M.: Nauka, 1966. - 636 p.
12. Kolkunov N.V. Fundamentals of calculation of elastic shells. Ed. 2nd revision. and additional Proc. Allowance for universities. M., "Higher. school", 1972 - 296 p.
13. Bobtsov A.A., Boikov V.I., Bystrov S.V., Grigoriev V.V. Actuators and systems for micro-movements. - St. Petersburg State University ITMO, 2011. - 131 p.
14. Piezoelectric Actuators Components, Technologies, Operation [Electronic resource] // Access mode: URL: <http://www.piezo.ws/pdf/Piezo.pdf> (Accessed: 29.09.2017).
15. 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.

Rodichev Alexey Yurievich
Orel State University named after I.S. Turgenev

Vlasova Svetlana Alexandrovna

candidate of technical sciences, associate professor of the department mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: sitin@mail.ru

Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation, Orel employee
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: sitin@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. СЫТИН, С.А. Власова, А.В. Горин, А.Д. Серебренников, 2023

УДК 53.08

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-359-3-137-143

Д.В. ШУТИН, К.К. НАСТЕПАНИН

УПРАВЛЕНИЕ СЕРВОКЛАПАНАМИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АКТИВНОЙ СМАЗКИ ГИДРОСТАТОДИНАМИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ

Аннотация. *Активная смазка гидростатодинамических подшипников позволяет воздействовать на динамические и трибологические параметры роторно-опорной системы посредством отдельного регулирования давления подачи смазочного материала в питающие камеры. Для этих целей на экспериментальной установке применены сервоклапаны с электрическим приводом постоянного тока. Обратная связь реализуется по датчикам давления. Система также может сопрягаться с датчиками положения ротора для контроля расположения его орбиты. Для замкнутого регулирования давления смазочного материала и положения ротора разработан и реализован программно-аппаратный контроллер для управления пропорциональными сервоклапанами на базе ПИД-регулятора. Контроллер принимает от управляющего устройства более высокого уровня сигналы с заданием требуемых значений выходных параметров по нескольким параллельным каналам. Разработанные программно-аппаратные средства управления устанавливают регулирующий механизм в положение, обеспечивающее заданные значения параметров на выходе. Результаты демонстрируют способность разработанной системы выполнять регулирующие функции с приемлемым быстродействием и качеством переходного процесса, включая отсутствие перерегулирования в ответ на изменяющееся значение уставки.*

Ключевые слова: *сервоклапаны, системы управления, роторные системы, активные подшипники, контроллеры.*

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №22-79-00289, <https://rscf.ru/project/22-79-00289/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сервоклапан с электроприводом AQUABAST 12B // Бастион URL: <https://bast.ru/products/aquabast/> (дата обращения: 08.05.2023).
2. Беспроводной сервоклапан с электроприводом ArmaControl -5 // Армасток URL: <https://armastock.ru/besprovodnaya-wi-fi-sistema-zaschity-ot-protechki-vody-armacontrol-5-s-odnim-wifi-sharovym-kranom> (дата обращения: 08.05.2023).
3. Сервоклапан с электроприводом AR24 // SPUTNIK URL: <https://privod-sputnik.ru/wp-content/uploads/2023/04/kran-s-электроприводом-SPUTNIK-AR24-230-K2-DN-15-25.pdf> (дата обращения: 08.05.2023).
4. Сервоклапан с электроприводом Rotork, PN 16-40 // Techmarket URL: <https://www.techmarket.ru/kran-y-sharovyе/kran-y-sharovyе-s-электроприводом/kran-sharovyу-TEMPERstalnoystandartnoprohodnoyflancevyys-электроприводом-RotorkPN-16-40-bar/> (дата обращения: 08.05.2023).
5. На Казанской ТЭЦ-3 запустили самую мощную в России газовую турбину // Газотурбинные технологии. – 2017. – № 4(147). – С. 2-5. – EDN ZXFVEL.
6. Патент № 2717197 С2 Российская Федерация, МПК F01P 1/08, F01P 7/02, F02B 37/18. Система турбокомпрессора и способ (варианты) охлаждения регулятора давления в системе турбокомпрессора: № 2016104236: заявл. 10.02.2016: опубл. 18.03.2020 / Ш. Ш. Д. Ямада, Т. Д. Гарднер, К. Д. Тиэрнен [и др.]; заявитель Форд Глобал Текнолоджиз, ЛЛК.
7. Патент на полезную модель № 170055 U1 Российская Федерация, МПК G01P 3/00. Устройство для одновременного измерения частоты вращения вала турбокомпрессора и разряжения воздуха в диффузоре турбокомпрессора: № 2016139430: заявл. 10.10.2016: опубл. 12.04.2017 / Ю. И. Беляев, В. А. Перминов, Т. В.

Трепачева; заявитель Акционерное общество "Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава" (АО "ВНИКТИ").

8. Авторское свидетельство № 188551 А1 СССР, МПК G01R 23/02, H02J 3/24, G01R 29/18. Способ определения несинхронного хода и знака скольжения турбогенератора или части турбогенераторов энергосистемы: № 928317/24-7: заявл. 09.11.1964: опубл. 01.11.1966 / Е. И. Загоскин.

9. Титко, А. И. Распределение электромагнитных вибровозбуждающих сил статора мощного турбогенератора / А. И. Титко, А. Н. Мельник // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2014. – № 37. – С. 39-44.

10. Сервоклапан с электроприводом ALSO ГЗ // Техмаркет URL: <https://www.techmarcet.ru/krany-sharovye/krany-sharovye-s-elektroprivodom/kran-sharovyy-ALSO-stalnoy-standart-s-elektroprivodom-gz-pn-16-40-bar/> (дата обращения: 08.05.2023).

11. Сервоклапан с электроприводом NAVAL Auma // Техмаркет URL: <https://www.techmarcet.ru/krany-sharovye/krany-sharovye-s-elektroprivodom/kran-sharovyy-NAVALstalnoystandartnoprohodnoyflancevyys-elektroprivodom-AumaPN-16-40-bar/> (дата обращения: 08.05.2023).

12. Сервоклапан с электроприводом BELIMO 16 // Техмаркет URL: <https://www.techmarcet.ru/krany-sharovye/krany-sharovye-s-elektroprivodom/kran-sharovyy-BELIMOlatusstandartnoprohodnoymuftovyys-elektroprivodomPN-16-barshveycariya/> (дата обращения: 08.05.2023).

13. Сервоклапан с электроприводом ALSO, BERNARD CONTROLS // Техмаркет URL: <https://www.techmarcet.ru/krany-sharovye/krany-sharovye-s-elektroprivodom/kran-sharovyy-also-lstalnoystandartnoprohodnoyflancevyys-elektroprivodom-bernard-16-40-bar/> (дата обращения: 08.05.2023).

14. Wasilczuk M. Friction and Lubrication of Large Tilting-Pad Thrust Bearings. – Lubricants. – 2015. – Т. 3. – С. 164-180.

15. Knauder C., Allmaier H., Sander D.E., Salhofer S., Reich F.M., Sams T. Analysis of the Journal Bearing Friction Losses in a Heavy-Duty Diesel Engine. – Lubricants. – 2015. – Т. 3. – С. 142-154.

16. Патент № 2599414 С2 Российская Федерация, МПК F02C 9/26. Способ и устройство для мониторинга системы приведения в действие на основе сервоклапанов: № 2013144739/06: заявл. 24.02.2012: опубл. 10.10.2016 / Н. М. П. Гейт, Ф. Годель, Б. Понталлье.

17. Ю. В. Миллер, Г. В. Саблина. Расчёт параметров ПИД-регулятора / Автоматика и программная инженерия. – 2020. – № 1(31). – С. 148-153.

Шутин Денис Владимирович

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

Доцент кафедры мехатроники, механики и

робототехники

E-mail: rover.ru@gmail.com

Настепакин Кирилл Константинович

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

Стажер-исследователь НОЦ «Интеллектуальные

технологии мониторинга и диагностики

энергогенерирующего оборудования»

E-mail: nastepanin02@mail.ru

D.V. SHUTIN, K.K. NASTEPANIN

CONTROL OF SERVOVALVES TO IMPLEMENT ACTIVE LUBRICATION IN HYBRID FLUID FILM BEARINGS

Abstract. *Active lubrication of hydrostatic dynamic bearings allows you to influence the dynamic and tribological parameters of the rotary bearing system by separately regulating the pressure of the lubricant supply to the supply chambers. For these purposes, servo valves with direct current electric drive were used in the experimental setup. Feedback is realized by pressure sensors. The system can also interface with rotor position sensors to control the location of its orbit. For closed-loop control of lubricant pressure and rotor position, a software and hardware controller has been developed and implemented to control proportional servo valves based on a PID controller. The controller receives signals from the control device of a higher level with the assignment of the required values of the output parameters via several parallel channels. The developed software and hardware controls set the control mechanism to a position that provides the specified values of the output parameters. The results demonstrate the ability of the developed system to perform regulatory functions with acceptable speed and transient quality, including the absence of overshoot in response to a changing setpoint value.*

Keywords: *servo valves, control systems, rotary systems, active bearings, controllers.*

BIBLIOGRAPHY

1. Servo valve with electric actuator AQUABAST 12V // Bastion URL: <https://bast.ru/products/aquabast/> (date of access: 05/08/2023).

2. Wireless electric servo valve ArmaControl -5 // Armastock URL: <https://armastock.ru/besprovodnaya-wi-fi-sistema-zaschity-ot-protechki-vody-armacontrol-5-s-odnim-wifi-sharovym-kranom> (date of access: 05/08/2023).

3. SPUTNIK AR24 electric servo valve // Sputnik URL: <https://privod-sputnik.ru/wp-content/uploads/2023/04/kran-s-elektroprivodom-SPUTNIK-AR24-230-K2-DN-15-25.pdf> (date of access: 05/08/2023).

4. Servo valve with electric actuator Rotork, PN 16-40 // Techmarket URL: <https://www.techmarcet.ru/krany-sharovye/krany-sharovye-s-elektroprivodom/kran-sharovyy-TEMPERstalnoystandartnoprohodnoyflancevyys-elektroprivodom-RotorkPN-16-40-bar/> (date of access: 05/08/2023).

5. The most powerful gas turbine in Russia was launched at Kazan CHPP-3 // Gas Turbine Technologies. - 2017. - No. 4 (147). - P. 2-5.
6. Patent No. 2717197 C2 Russian Federation, IPC F01P 1/08, F01P 7/02, F02B 37/18. Turbocharger system and method (options) for cooling the pressure regulator in the turbocharger system: No. 2016104236: Appl. 02/10/2016: publ. March 18, 2020 / Sh. Sh. D. Yamada, T. D. Gardner, K. D. Tiernen [et al.]; Applicant Ford Global Technologies, LLC.
7. Utility model patent No. 170055 U1 Russian Federation, IPC G01P 3/00. Device for simultaneous measurement of the rotational speed of the turbocharger shaft and the air discharge in the turbocharger diffuser: No. 2016139430: Appl. 10/10/2016: publ. April 12, 2017 / Yu. I. Belyaev, V. A. Perminov, T. V. Trepacheva; Applicant Joint Stock Company "Scientific-Research and Design-Technological Institute of Rolling Stock" (JSC "VNIKTI").
8. Copyright certificate No. 188551 A1 USSR, IPC G01R 23/02, H02J 3/24, G01R 29/18. Method for determining the non-synchronous stroke and the slip sign of a turbogenerator or a part of a turbogenerator in a power system: No. 928317/24-7: Appl. 11/09/1964: publ. 11/01/1966 / E. I. Zagoskin.
9. Titko, A. I. Distribution of electromagnetic vibration-exciting forces of the stator of a powerful turbogenerator / A. I. Titko, A. N. Melnik // Practice of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine. - 2014. - No. 37. - P. 39-44.
10. Servo valve with electric drive ALSO GZ // Techmarket URL: <https://www.techmarcet.ru/krany-sharovye/krany-sharovye-s-elektroprivodom/kran-sharovyy-ALSO-stalnoy-standart-s-elektroprivodom-gz-pn-16-40-bar/> (date of access: 05/08/2023).
11. NAVAL Auma electric servo valve // Techmarket URL: <https://www.techmarcet.ru/krany-sharovye/krany-sharovye-s-elektroprivodom/kran-sharovyy-NAVALstalnoystandartnoprohodnoyflancevyys-elektroprivodom-AumaPN-16-40-bar/> (date of access: 08.05.2023).
12. Servo valve with electric actuator BELIMO 16 // Techmarket URL: <https://www.techmarcet.ru/krany-sharovye/krany-sharovye-s-elektroprivodom/kran-sharovyy-BELIMOlattunnystandartnoprohodnoymuftovyys-elektroprivodomPN-16-barshveytsariya/> (date of access: 05/08/2023).
13. Servo valve with electric drive ALSO, BERNARD CONTROLS // Techmarket URL: <https://www.techmarcet.ru/krany-sharovye/krany-sharovye-s-elektroprivodom/kran-sharovyy-also-lstalnoystandartnoprohodnoyflancevyys-elektroprivodom-bernard-16-40-bar/> (date of access: 05/08/2023).
14. Wasilczuk M. Friction and Lubrication of Large Tilting-Pad Thrust Bearings. – Lubricants. – 2015. – Vol. 3. – Pp. 164-180.
15. Knauder C., Allmaier H., Sander D.E., Salhofer S., Reich F.M., Sams T. Analysis of the Journal Bearing Friction Losses in a Heavy-Duty Diesel Engine. – Lubricants. – 2015. – Vol. 3. – Pp. 142-154.
16. Patent No. 2599414 C2 Russian Federation, IPC F02C 9/26. Method and device for monitoring actuation system based on servo valves: No. 2013144739/06: Appl. 02/24/2012: publ. 10.10.2016 / N. M. P. Gate, F. Godel, B. Pontallier.
17. Yu. V. Miller, G. V. Sablina. Calculation of PID controller parameters / Automation and software engineering. – 2020. – No. 1 (31). – Pp. 148-153.

Shutin Denis Vladimirovich
Orel State University,
Associate Professor of the Department of Mechatronics,
Mechanics and Robotics
E-mail: rover.ru@gmail.com

Nastepanin Kirill Konstantinovich
Orel State University,
Intern-researcher of SEC "Intelligent technologies for
monitoring and diagnostics of power generating
equipment"
E-mail: nastepanin02@mail.ru

© Д.В. Шутин, К.К. Настепанин, 2023

ПРИБОРЫ, БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 551.46.077 (075.8)

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-359-3-144-150

Я.Н. ГАЙНУЛЛИНА

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ГЛУБОКОВОДНЫХ СИСТЕМ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ЖИДКОСТНОГО ДЫХАНИЯ

***Аннотация.** Исследование особенностей процессов жидкостного дыхания биологических объектов и человека, особенно при необходимости обеспечения всё более длительных периодов работы под водой требует сокращения стоимости погружений и увеличения надёжности работы технических систем и глубоководного оборудования.*

***Ключевые слова:** жидкостное дыхание, глубоководные системы, специальное оборудование, гипербария.*

Работа выполнена при поддержке программы Приоритет-2030 Севастопольского государственного университета (стратегический проект №2 "Прорывные исследования и разработки в области жидкостного дыхания").

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров М.П. Грузоподъемные машины / М.П. Александров, Л.Н. Колобов, Н.А. Лобов. – М.: Машиностроение, 1986. – 399 с.
2. Александров М.П. Подъемно – транспортные машины. – М.: Высшая школа, 1985. – 520 с.
3. Бегун П.И. Расчёт на прочность гибких упругих элементов конструкций произвольной формы при различных видах нагружения // Технические средства освоения и изучения Мирового океана. – Л.: Тезисы V Всесоюзной научной конференции, 1985. – С. 60.
4. Богач А.С. Цифровая система передачи телеметрической информации по трос-кабелю / А.С. Богач, В.П., Королёв, Г.А. Мирошниченко // Технические средства изучения и освоения океана. – Севастополь: Тезисы докладов Всесоюзной конференции, 1990. – С. 165 – 166.
5. Ветров А.П. Разработка технологического оборудования для создания кабель – троса со шланговой вставкой для бортового геохимического комплекса / А.П. Ветров, М.И. Калинин, С.С. Носаль // Технические средства изучения и освоения океана. – Севастополь: Тез. Докл. Всесоюзной конференции, 1990. – С. 78 – 80.
6. Голуб Б.Н. Повышение стойкости проволочных оплеток к перегибам / Б.Н. Голуб, Г.Д. Ризманова, Ю.Л. Чернецов // Электротехническая промышленность. – Сер. Кабельная техника, 1980. – №4. – С. 3.
7. Гончаренко Н.К. Проблемы создания рациональных конструкций буксируемых конструкций буксируемых кабель – тросов для подводных исследований / Н.К. Гончаренко, М.И. Калинин, А.П. Ветров. – Л.: Океанотехника, 1985. – № 1. – С. 167.
8. Гузь А.Н. Трехмерная теория устойчивости стержней, пластин и оболочек / А.Н. Гузь, И.Ю. Бабич. – Киев.: Вища школа, 1980. – 167 с.
9. Калинин М.И. Совершенствование методов и параметров скрутки проволочной брони грузонесущих кабелей // Электротехническая промышленность, 1987. – № 7. – С. 24 – 25.
10. Калинин М.И. Разработка грузонесущих буксируемых систем для гидрохимических исследований шельфа / М.И. Калинин, А.П. Ветров. – М.: Тезисы докладов ВШ, 1997. – т.2. – 146 с.
11. Калинин М.И. Повышение долговечности грузонесущих оплеток путём выбора конструктивных параметров и совершенствования технологии // Совершенствование подъемно – тралового оборудования рыболовных судов. – Севастополь, 1987, с. 14 – 15.
12. Калюх Ю.И. Численный анализ тросовых систем в потоках / Ю.И. Калюх, В.А. Горбань, Н.В. Салтанов // Технические средства освоения и изучения мирового океана. – Л.: Тезисы VI Всесоюзной научной конференции, 1990. – С. 81.
13. Лебедев А.А. Механические свойства конструктивных материалов при сложном напряженном состоянии / А. А. Лебедев, Б. И. Ковальчук, Ф. Ф. Гигиняк, В. П. Ламашевский // Справочник. – Киев.: Наукова думка, 1983. – 365 с.
14. Мамаев Л.М. Изгиб кабель – канатов с учетом влияния шланговой оболочки и сил трения/ Л.М. Мамаев, Э.А. Шахназарян // Стальные канаты. – К.: Техника, 1969. – №6. – С. 197 – 202.
15. Светлицкий В.А. Механика гибких стержней и нитей. – К.: Машиностроение, 1978. – 222 с.
16. Светлицкий В.А. Механика стержней. – М.: Высшая школа, 1987. – т.1. – 320 с.
17. Светлицкий В.А. Механика трубопроводов и шлангов. – М.: Машиностроение, 1982. – 297 с.
18. Силов В.Б. Оптимизация параметров поисковых комплексов по нечётким критериям / В.Б. Силов, М.И. Калинин // Приборостроение. – Киев: Техника, 1983. – № 34. – с. 13 – 19.
19. Юрнев А.П. Аварии под водой / А.П. Юрнев, Б.Д. Сахаров, А.В. Сытин. – Л.: Судостроение, 1986. – 127с.
20. Гайнуллина Я.Н. Техническое обеспечение процессов жидкостного дыхания / Я.Н. Гайнуллина, Е.В. Пашков, М.И. Калинин, П.К. Сопин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2022. – № 4 (354). – С. 3 – 9.
21. Гайнуллина Я.Н. Развитие технологий жидкостного дыхания для обеспечения длительных глубоководных исследований/ Я.Н. Гайнуллина, М.И. Калинин, Е.В. Пашков, В.П. Поливцев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2021. – № 6 (350). – С. 194-199.

Гайнуллина Яна Николаевна

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
Научный сотрудник лаборатории «Экспериментальные системы жизнеобеспечения биологических объектов»
г. Севастополь, ул. Гоголя, д. 14, тел. +7(8692) 417741,
E-mail: medeya-ru@yandex.ru

YA.N. GAINULLINA

JUSTIFICATION OF THE USE OF SPECIAL DEEP-SEA SYSTEMS IN PROVIDING STUDIES OF LIQUID RESPIRATION PROCESSES

Annotation. The study of the features of the processes of liquid respiration of biological objects and humans, especially when it is necessary to ensure longer and longer periods of work under water, requires reducing the cost of work and increasing the reliability of technical systems and deep-sea equipment.

Keywords: liquid respiration, deep-sea systems, special equipment, hyperborea.

BIBLIOGRAPHY

1. Aleksandrov M.P. Gruzopod'emnie mashini / M.R. Aleksandrov, L.N. Kolobov, N.A. Lobov. – M.: Mashinostroenie, 1986. – 399 s.
2. Aleksandrov M.P. Pod'emno – transportnie mashini. – M.: Vishaya shkola, 1985. – 520 s.
3. Begun P.I. Raschet na prochnost' gibkikh uprugikh elementov konstruktsiy proizvol'noy formi pri razlichnikh vidakh nagruzeniya // tekhnicheskie sredstva osvoeniya I izucheniya Mirovogo okeana. – L.: Tezisi V Vsesouznoy naychnoy konferentsii, 1985. – S. 60.
4. Bogach A.S. Czifrovaya sistema peredachi telemekhanicheskoy informatsii po tros – kabelyu / A.S. Bogach, V.P. Korolyov, G.A. Miroshnichenko // Tekhnicheskie sredstva izyecheniya I osvoeniya okeana. – Sevastopol': Tezisi dokladov Vsesouznoy konferentsii, 1990. – S. 165 – 166.
5. Vetrov A.P. Razrabotka tekhnologicheskogo oborydovaniya dlya sozdaniya kabel' – trosoy so shlangovoy vstavkoy dlya bortovogo geokhimicheskogo kompleksa / A.P. Vetrov, M.I. Kalinin, S.S. Nosal' // Tekhnicheskie sredstva izyecheniya I osvoeniya okeana. – Sevastopol': Tezisi dokladov Vsesouznoy konferentsii, 1990. – S. 78 – 80.
6. Golyb B.N. Povishenie stoykosti provolochnikh opletok k peregibam / B.N. Golyb, G.D. Rizmanova, Yu.L. Chernrczov // Elektrotekhnicheskaya promishlennost'. – Ser. Kabel'naya tekhnika, 1980. – №4. – S. 3.
7. Goncharenko N.K. Problemi sozdaniya racional'nykh konstruktivnykh byksiryemikh konstruktivnykh byksiryemikh kabel' – trosov dlya podvodnykh issledovaniy / N.K. Goncharenko, M.I. Kalinin, A.P. Vetrov. – L.: Okeanotekhnika, 1985. – № 1. – S. 167.
8. Gyz' A.N. Trekhmernaya teoriya ustoychivosti sterzhney, plastin i obolochek / A.N. Gyz', I.Yu. Babich. – Kiev.: Vishha shkola, 1980. – 167 s.
9. Kalinin M.I. Sovershenstvovanie metodov i parametrov skrutki provolochnoy broni gryzoesushnykh kabeley // Elektrotekhnicheskaya promishlennost', 1987. – № 7. – S. 24 – 25.
10. Kalinin M.I. Razrabotka gryzoesushnykh buksiruemykh sistem dlya gidrokhimicheskikh issledovaniy shel'fa / M.I. Kalinin, A.P. Vetrov. – M.: Tezisi dokladov Vsh, 1997. – t.2. – 146 s.
11. Kalinin M.I. Povishenie dolgovechnosti gryzoesushnykh oplyotok pytyom vibora konstruktivnykh parametrov i sovershenstvovaniya tekhnologii // sovershenstvovanie pod'emno – tralovogo oborudovaniya ribolovnykh sydov. – Sevastopol', 1987, s. 14 – 15.
12. Kalyukh Yu. I. Chislennyy analiz trosovnykh sistem v potokakh / Yu.I. Kalyukh, V.A. Gorban', N.V. Saltanov // Tekhnicheskie sredstva osvoeniya I izyecheniya mirovogo okeana. – L.: Tezisi VI Vsesouznoy naychnoy konferentsii, 1990. – S. 81.
13. Lebedev A.A. Mekhanicheskie svoystva konstruktivnykh materialov pri slozhnom napryazhennom sostoyanii / A.A. Lebedev, B.I. Koval'chik, F.F. Giginyak, V.P. Lamashevskiy // Spravochnik. – Kiev.: Naukova dumka, 1983. – 365 s.
14. Mamaev L.M. Izgib kabel' – kanatov s uchetom vkiyaniya shlangovoy obolochki I sil treniya / L.M. Mamaev, E.A. Shakhnazaryan // Stal'nie kanati. – K.: Tekhnika, 1969. – №6. – S. 197 – 202.
15. Svetliczkiy V.A. Mekhanika gibkikh sterzhney i nitey. – K.: Mashinostroenie, 1978. – 222 s.
16. Svetliczkiy V.A. Mekhanika sterzhney. – M.: Vishaya shkola, 1978. – t.1. – 320 s.
17. Svetliczkiy V.A. Mekhanika tryboprovodov i shlangov. – M.: Mashinostroenie, 1982. – 297 s.
18. Silov V.B. Optimizatsiya parametrov poiskovykh kompleksov po nechetkim kriteriyam / V.B. Siliv, M.I. Kalinin // Priborostroenie. – Kiev: Tekhnika, – № 34. – s. 13 – 19.
19. Yurnev A.P. Avarii pod vodoy / A.P. Yurnev, B.D. Sakharov, A.V. Sitin. – L.: Sudostroenie, 1986. – 127s.
20. Gaynullina Y.N. Tehnicheskoe obespechenie processov zidkostnogo dihaniya / Y.N. Gaynullina, E.V. Pashkov, M.I. Kalinin, P.K. Sopin // Fyundamental'nie I prikladnie problemi tekhniki I tehnologii. – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva. 2022. – № 4 (354). – S. 3 – 9.
21. Gaynullina Y.N. Razvitie tekhnologii zidkostnogo dihaniya dlya obespecheniya dritel'nykh glybokovodnykh Issledovaniy / Y.N. Gaynullina, M.I. Kalinin, E.V. Pashkov, V.P. Polivcev // Fyundamental'nie I prikladnie problemi tekhniki I tehnologii. – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva. 2021. – №6 (350). – S. 194 – 199.

Gaynullina Yana Nikolaevna

Sevastopol State University, Researcher at the laboratory "Experimental life Support systems of biological objects", Sevastopol, Gogol str., 14 tel. +7(8692) 417741
E-mail: medeya-ru@yandex.ru

И.И. СВИРИДЕНКО, А.А. ЧУКЛИН, Д.И. СВИРИДЕНКО

ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ МОРСКИХ МАЛЫХ СКОРОСТНЫХ НАДВОДНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ

Аннотация. Представлен аналитический обзор современного состояния зарубежных и отечественных морских скоростных малых надводных беспилотных аппаратов (НБА), предназначенных для патрулирования и охраны водных районов, противодиверсионной и противопиратской деятельности на море, разведки и поддержки спецопераций на акваториях и побережье, пресечения деятельности нарушителей государственной границы или исключительной экономической зоны, браконьеров, преступников, а также поисково-спасательных операций. Приведена классификация морских НБА. Дан анализ возможного применения малых скоростных НБА, а также предъявляемых к ним требований. Рассмотрены особенности существующих и разрабатываемых малых скоростных НБА, их основных свойств и технических характеристик, тенденций развития, перспектив производства и использования. Сделан вывод о необходимости ускоренного развития в отечественном кораблестроении направления малых скоростных НБА.

Ключевые слова: малый скоростной надводный беспилотный аппарат, охрана водного района, автономное средство поиска и спасения, безэкипажный надводный корабль.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рынок беспилотных морских систем – рост, тенденции, влияние COVID-19 и прогнозы (2022–2027 гг.). URL: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/unmanned-sea-systems-market> (дата обращения: 26.01.2023).
2. Рынок дистанционных систем вооружения морского базирования: рост, тенденции, влияние COVID-19 и прогнозы (2023–2028 гг.). URL: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/sea-based-remote-weapon-systems-market> (дата обращения: 26.01.2023).
3. Беспилотный военно-морской флот. URL: <https://iot.ru/bezopasnost/chto-nado-znat-o-bespilotnom-voenno-morskom-flote?ysclid=lg9dfgw2jp780892063> (дата обращения: 05.01.2023).
4. Глобальная сеть морских беспилотников. URL: <https://habr.com/ru/companies/leaderid/articles/700840/> (дата обращения: 15.01.2023).
5. Надводные необитаемые аппараты – положение дел и тенденции. URL: <https://invoen.ru/issledovaniya/nadvodnye-neobitaemye-apparaty/> (дата обращения: 20.01.2023).
6. Porathe, T., Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) and the COLREGS: Do We Need Quantified Rules Or Is “The Ordinary Practice of Seamen” Specific Enough? // The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 2019. Vol. 13. No. 3. P. 511-517. DOI:10.12716/1001.13.03.04/
7. Ривкин Б.С. Беспилотные суда. Навигация и не только // Гироскопия и навигация, 2021. № 1(112). Том 29. С. 111-132. DOI 10.17285/0869-7035.0059.
8. Комплексные системы безопасности объектов со стороны акваторий. URL: <https://ks2020.ru/> (дата обращения: 12.02.2023).
9. Макаренко С.И. Робототехнические комплексы военного назначения – современное состояние и перспективы развития // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/robototekhnicheskie-kompleksy-voennogo-naznacheniya-sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya> (дата обращения: 27.04.2023).
10. Военные беспилотные системы. Часть 2. URL: <https://integral-russia.ru/2019/02/05/voennye-bespilotnye-sistemy-chast-2/> (дата обращения: 16.01.2023).
11. Сенюшкин Н.С., Ямалев Р.Р., Мисюра О.В. Особенности автономных надводных беспилотных комплексов // Молодой ученый, 2011. № 1(24). С. 41-43.
12. Navy Large Unmanned Surface and Undersea. URL: <https://crsreports.congress.gov> (дата обращения: 11.12.2022).
13. Ukraine’s New Weapon To Strike Russian Navy In Sevastopol. URL: <https://www.navalnews.com/naval-news/2022/09/ukraines-new-weapon-to-strike-russian-navy-in-sevastopol/> (дата обращения: 29.11.2022).
14. Морской беспилотник Украины. URL: <https://diaryrh.ru/novosti/zagadochnyj-morskoj-bespilotnik-ukrainy> (дата обращения: 28.11.2022).
15. «Микола-3» – мифы и реальность. URL: <https://versia.ru/na-ukraine-naladili-vypusk-morskix-udarnyx-bespilotnikov> (дата обращения: 29.11.2022).
16. New Defenses Show Russia On Defensive In Sevastopol As Ukraine Attacks. URL: <https://www.navalnews.com/naval-news/2023/04/new-defenses-show-russia-on-defensive-in-sevastopol-as-ukraine-attacks/#prettyPhoto> (дата обращения: 25.04.2023).

17. Russia repels Ukraine's drone attack on Sevastopol. URL: <https://www.navalnews.com/naval-news/2023/03/russia-repels-ukraines-drone-attack-on-sevastopol/> (дата обращения: 25.04.2023).
18. Влияние Специальной операции на Украине на развитие военной науки. URL: <http://morpolit.milportal.ru/vliyanie-specialnoj-operacii-na-ukraine-na-razvitie-voennoj-nauki/> (дата обращения: 15.04.2023).
19. Rotax 900 ACE – 90. Marine. URL: <https://www.rotax.com/en/products/rotax-powertrains/details/rotax-900-ace-90.html> (дата обращения: 25.09.2022).
20. MANTAS T-Series Unmanned Surface Vessels (USV). URL: <https://www.naval-technology.com/projects/mantas-t-series-unmanned-surface-vessels-usv/> (дата обращения: 11.11.2022).
21. Морские дроны, атаковавшие Севастопольскую бухту. URL: <https://www.mk.ru/politics/2022/11/05/specialisty-nazvali-morskie-drony-atakovavshie-sevastopolskiyu-bukhtu.html> (дата обращения: 11.12.2022).
22. Егоров В. Разработка дистанционно управляемых катеров для ВМС иностранных государств // Зарубежное военное обозрение, 2008. № 3. С. 67-72.
23. Israel Navy Readies for Third-Generation USV. URL: <https://www.defensenews.com/naval/2016/07/27/israel-navy-readies-for-third-generation-usv/>
24. Катера-беспилотники. URL: <https://www.techinsider.ru/weapon/10988-bespilotnaya-smert-katera-bespilotniki/?ysclid=lgtf0hs9ci45446710> (дата обращения: 20.01.2023).
25. Безэкипажные надводные корабли: угроза с Востока. URL: <https://topwar.ru/179436-bezkipazhnye-nadvodnye-korabli-ugroza-s-vostoka.html> (дата обращения: 10.01.2023).
26. Turkish "MIR" USV test-fires torpedo for the first time. URL: <https://www.navalnews.com/naval-news/2023/04/turkish-mir-usv-test-fires-torpedo-for-first-time/> (дата обращения: 14.03.2023).
27. Новый беспилотный военный катер SALVO. URL: <https://topwar.ru/196827-turcija-ispytala-novyj-bespilotnyj-voennyj-korabl-salvo.html> (дата обращения: 10.04.2023).
28. Турция продемонстрировала свои беспилотные боевые катера. URL: <https://newizv.ru/news/2022-08-09/turtsiya-prodemonstirovala-svoi-bespilotnye-boevye-katera-361074> (дата обращения: 17.01.2023).
29. Cyprus' Swarmly Unveils New 'B5 Hydra' Armed USV. URL: <https://www.navalnews.com/naval-news/2023/04/cyprus-swarmly-unveils-new-b5-hydra-armed-usv/> (дата обращения: 05.03.2023).
30. 18 морских беспилотников России. URL: <https://dzen.ru/a/ҮрwјQҮqRхwјQҮYf> (дата обращения: 11.01.2023).
31. Катер-беспилотник «Кибербоат-330» для борьбы с браконьерством. URL: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/254243387> (дата обращения: 25.11.2022).
32. Автономный катер-беспилотник для борьбы с браконьерством. URL: <https://sdelanounas.ru/blogs/142319/> (дата обращения: 25.11.2022).
33. Непотопляемый беспилотный катер. URL: https://4pda.to/2021/07/17/387904/rossijskie_inzhenery_sozdali_nepotoplyaemuj_bespilotnyj_kater/ (дата обращения: 14.11.2022).
34. Безэкипажный телеуправляемый катер «Тайфун-680» для ВМФ России. URL: http://zonwar.ru/news4/news_732_Taifun-680.html (дата обращения: 25.11.2022).

Свириденко Игорь Иванович
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
г. Севастополь,
доцент кафедры Энергоустановки
морских судов и сооружений,
кандидат технических наук
299053, г. Севастополь,
ул. Университетская, 33
тел. +8692543086
E-mail: i.sviridenko@mail.ru

Чуклин Алексей Александрович
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
г. Севастополь,
директор дирекции научных
исследований,
кандидат технических наук
299053, г. Севастополь,
ул. Университетская, 33
тел. +8692417741, доб. 1173
E-mail: aachuklin@mail.sevsu.ru

Свириденко Дарья Игоревна
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
г. Севастополь,
студентка
299053, г. Севастополь,
ул. Университетская, 33
тел. +8692543086
E-mail: di.sviridenko@mail.ru

I.I. SVIRIDENKO, A.A. CHUKLIN, D.I. SVIRIDENKO

REVIEW OF THE CURRENT STATE OF SMALL MARINE HIGH-SPEED SURFACE UNMANNED VEHICLES

Annotation. *The article presents an analytical review of the current state of foreign and domestic high-speed maritime small unmanned surface vehicles (USVs) designed for patrolling and protecting water areas, anti-sabotage and anti-piracy activities at sea, reconnaissance and support of special operations in water areas and coasts, suppressing the activities of violators of the state border or exclusive economic zone, poachers, criminals, and search and rescue operations. The classification of marine USVs is given. An analysis of the possible use of small high-speed USVs, as well as the requirements for them, is given. The features of existing and developed small high-speed USVs, their main properties and technical characteristics, development trends, prospects for production and use are considered. The conclusion is made about the need for accelerated development in the domestic shipbuilding of the direction of small high-speed USVs.*

Keywords: *high-speed maritime small unmanned surface vehicles, protection of the water area, autonomous search and rescue facility, unmanned surface ship.*

BIBLIOGRAPHY

1. *Rynok bespilotnyh morskikh sistem – rost, tendencii, vliyanie COVID-19 i prognozy (2022–2027 gg.)* [Unmanned Marine Systems Market - Growth, Trends, COVID-19 Impact and Forecasts (2022-2027)]. Available at: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/unmanned-sea-systems-market> (accessed: 26.01.2023). (In Russian).
2. *Rynok distancionnyh sistem vooruzheniya morskogo bazirovaniya: rost, tendencii, vliyanie COVID-19 i prognozy (2023–2028 gg.)* [Sea-Launched Weapons Market: Growth, Trends, COVID-19 Impact and Forecasts (2023-2028)] Available at: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/sea-based-remote-weapon-systems-market> (accessed: 26.01.2023). (In Russian).
3. *Bespilotnyj voenno-morskoj flot* [Unmanned Navy] Available at: <https://iot.ru/bezopasnost/chto-nado-znat-o-bespilotnom-voenno-morskoy-flote?ysclid=lg9dfgw2jp780892063> (accessed: 05.01.2023). (In Russian).
4. *Global'naja set' morskikh bespilotnikov* [Global network of maritime drones] Available at: <https://habr.com/ru/companies/leaderid/articles/700840/> (accessed: 15.01.2023). (In Russian).
5. *Nadvodnye neobitaemye apparaty – polozhenie del i tendencii* [Surface uninhabited vehicles - state of affairs and trends]. Available at: <https://invoen.ru/issledovaniya/nadvodnye-neobitaemye-apparaty/> (accessed: 20.01.2023). (In Russian).
6. Porathe, T., Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) and the COLREGS: Do We Need Quantified Rules Or Is “The Ordinary Practice of Seamen” Specific Enough? // *The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 2019. Vol. 13. No. 3. P. 511-517. DOI:10.12716/1001.13.03.04 (In English).
7. Rivkin B.S. *Bespilotnye suda. Navigacija i ne tol'ko* [Unmanned vessels. Navigation and more] // *Girokopija i navigacija* [Gyroscopy and navigation], 2021. No 1(112). Vol. 29. P. 111-132. DOI 10.17285/0869-7035.0059. (In Russian).
8. *Kompleksnye sistemy bezopasnosti ob'ektov so storony akvatorij* [Integrated security systems for objects from the side of water areas]. Available at: <https://ks2020.ru/> (accessed: 12.02.2023). (In Russian).
9. Makarenko S.I. *Robototekhnicheskie komplekсы voennogo naznachenija – sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitiya* // *Sistemy upravlenija, svjazi i bezopasnosti. 2016. No 2* [Makarenko S.I. Robotic complexes for military purposes – the current state and development prospects // *Control Systems, Communications and Security. 2016. No. 2*]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/robototekhnicheskie-komplekсы-voennogo-naznachenija-sovremennoe-sostojanie-i-perspektivy-razvitiya> (accessed: 27.04.2023). (In Russian).
10. *Voennye bespilotnye sistemy. Chast' 2* [Military unmanned systems. Part 2]. Available at: <https://integral-russia.ru/2019/02/05/voennye-bespilotnye-sistemy-chast-2/> (accessed: 16.01.2023). (In Russian).
11. Senyushkin N.S., Yamaliev R.R., Misyura O.V. *Osobennosti avtonomnyh nadvodnyh bespilotnyh kompleksov* [Features of autonomous surface unmanned systems] // *Molodoj uchenyj* [Young scientist], 2011. No 1(24). P. 41-43. (In Russian).
12. Navy Large Unmanned Surface and Undersea. Available at: <https://crsreports.congress.gov> (accessed: 11.12.2022). (In English).
13. Ukraine's New Weapon To Strike Russian Navy In Sevastopol. Available at: <https://www.navalnews.com/naval-news/2022/09/ukraines-new-weapon-to-strike-russian-navy-in-sevastopol/> (accessed: 29.11.2022). (In English).
14. *Morskoy bespilotnik Ukrainy* [Maritime drone of Ukraine]. Available at: <https://diaryrh.ru/novosti/zagadochnyj-morskoy-bespilotnik-ukrainy> (accessed: 28.11.2022). (In Russian).
15. *“Mikola-3” – mify i real'nost'* [“Mikola-3” – myths and reality]. Available at: <https://versia.ru/na-ukrainenadalili-vypusk-morskix-udarnyx-bespilotnikov> (accessed: 29.11.2022). (In Russian).
16. New Defenses Show Russia On Defensive In Sevastopol As Ukraine Attacks. Available at: <https://www.navalnews.com/naval-news/2023/04/new-defenses-show-russia-on-defensive-in-sevastopol-as-ukraine-attacks/#prettyPhoto> (accessed: 25.04.2023). (In English).
17. Russia repels Ukraine's drone attack on Sevastopol. Available at: <https://www.navalnews.com/naval-news/2023/03/russia-repels-ukraines-drone-attack-on-sevastopol/> (accessed: 25.04.2023). (In English).
18. *Vliyanie Special'noj operacii na Ukraine na razvitie voennoj nauki* [The impact of the Special Operation in Ukraine on the development of military science]. Available at: <http://morpolut.milportal.ru/vliyanie-specialnoj-operacii-na-ukraine-na-razvitie-voennoj-nauki/> (accessed: 5.04.2023). (In Russian).
19. Rotax 900 ACE – 90. Marine. Available at: <https://www.rotax.com/en/products/rotax-powertrains/details/rotax-900-ace-90.html> (accessed: 25.09.2022). (In English).
20. MANTAS T-Series Unmanned Surface Vessels (USV). Available at: <https://www.naval-technology.com/projects/mantas-t-series-unmanned-surface-vessels-usv/> (дата обращения: 11.11.2022). (In English).
21. *Morskie drony, atakovavshie Sevastopol'skuju buhtu* [Marine drones that attacked the Sevastopol Bay]. Available at: <https://www.mk.ru/politics/2022/11/05/specialisty-nazvali-morskie-drony-atakavavshie-sevastopolskuyu-bukhtu.html> (accessed: 11.12.2022). (In Russian).
22. Egorov V. Razrabotka distancionno upravljajemyh katerov dlja VMS inostrannyh gosudarstv [Development of remotely controlled boats for foreign navies] // *Zarubezhnoe voennoe obozrenie* [Foreign military review], 2008. No 3. P. 67-72. (In Russian).
23. Israel Navy Readies for Third-Generation USV. Available at: <https://www.defensenews.com/naval/2016/07/27/israel-navy-readies-for-third-generation-usv/> (accessed: 05.01.2023). (In English).

24. *Katera-bespilotniki* [Drone boats]. Available at: <https://www.techinsider.ru/weapon/10988-bespilotnaya-smert-katera-bespilotniki/?ysclid=lgtf0hs9ci45446710> (accessed: 20.01.2023). (In Russian).
25. *Bezjkipazhnye nadvodnye korabli: ugroza s Vostoka* [Unmanned surface ships: a threat from the East]. Available at: <https://topwar.ru/179436-bezjkipazhnye-nadvodnye-korabli-ugroza-s-vostoka.html> (accessed: 10.01.2023). (In Russian).
26. Turkish “MIR” USV test-fires torpedo for the first time. Available at: <https://www.navalnews.com/naval-news/2023/04/turkish-mir-usv-test-fires-torpedo-for-first-time/> (accessed: 14.03.2023). (In English).
27. *Novyj bespilotnyj voennyj kater SALVO* [New unmanned military boat SALVO]. (In Russian). Available at: <https://topwar.ru/196827-turcija-ispytala-novyj-bespilotnyj-voennyj-korabl-salvo.html> (accessed: 10.04.2023).
28. *Turcija prodemonstirovala svoi bespilotnye boevye katera* [Türkiye demonstrated its unmanned combat boats]. Available at: <https://newizv.ru/news/2022-08-09/turtsiya-prodemonstirovala-svoi-bespilotnye-boevye-katera-361074> (accessed: 17.01.2023). (In Russian).
29. Cyprus’ Swarmly Unveils New “B5 Hydra” Armed USV. Available at: <https://www.navalnews.com/naval-news/2023/04/cyprus-swarmly-unveils-new-b5-hydra-armed-usv/> (accessed: 05.03.2023). (In English).
30. *18 morskikh bespilotnikov Rossii* [18 Russian maritime drones]. Available at: <https://dzen.ru/a/YpwjQYqRxljQQYf> (accessed: 11.01.2023). (In Russian).
31. *Kater-bespilotnik “Kiberboat-330” dlja bor'by s brakon'erstvom* [Boat drone "Cyberboat-330" to combat poaching]. Available at: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/254243387> (accessed: 25.11.2022). (In Russian).
32. *Avtonomnyj kater-bespilotnik dlja bor'by s brakon'erstvom* [Autonomous drone boat to combat poaching]. Available at: <https://sdelanounas.ru/blogs/142319/> (accessed: 25.11.2022). (In Russian).
33. *Nepotopljaemyj bespilotnyj kater* [Unsinkable unmanned boat]. Available at: https://4pda.to/2021/07/17/387904/rossijskie_inzhenery_sozdali_nepotoplyaemyj_bespilotnyj_kater/ (accessed: 14.11.2022). (In Russian).
34. *Bezjkipazhnyj teleupravljaemyj kater “Tajfun-680” dlja VMF Rossii* [Unmanned remote-controlled boat “Typhoon-680” for the Russian Navy]. Available at: http://zonwar.ru/news4/news_732_Taifun-680.html (accessed: 25.11.2022). (In Russian).

Sviridenko Igor Ivanovich
Sevastopol State University,
Associate Professor, Department of
Ship Power Stations and Constructions,
Ph.D,
University st., 33, Sevastopol, Russian
Federation, 299053
tel. +8692543086
E-mail: i.sviridenko@mail.ru

Chuklin Alexey Alexandrovich
Sevastopol State University,
Director of Scientific Research
Directorate,
Ph.D,
University st., 33, Sevastopol, Russian
Federation, 299053
tel. +8692417741, доб. 1173
E-mail: aachuklin@mail.sevsu.ru

Sviridenko Daria Igorevna
Sevastopol State University,
Student
University st., 33, Sevastopol, Russian
Federation, 299053
tel. +8692543086
E-mail: di.sviridenko@mail.ru

© И.И. Свириденко, А.А. Чуклин, Д.И. Свириденко, 2023

УДК 531.74.082.4

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-359-3-164-172

А.И. НЕЗНАНОВ, К.В. ПОДМАСТЕРЬЕВ, О.А. СУСЛОВ

СХЕМЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ С ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫХ ДАТЧИКОВ ПРИ КОНТРОЛЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ РЕЛЬС

Аннотация. Рассмотрены задачи контроля напряженного состояния рельс, а также силовых факторов, действующих на путь, при испытаниях подвижного состава. Представлены способы размещения тензорезисторов на рельсах для измерения деформаций, боковых и вертикальных сил, действующих на рельсы под воздействием нагрузок. Приведены схемы включения первичных преобразователей, а также математически проанализированы их чувствительность и точность вследствие разброса начальных значений сопротивлений тензорезисторов, показана возможность схемотехнической компенсации указанной погрешности. Представлены результаты имитационного компьютерного моделирования указанных схем включения первичных преобразователей, показывающие адекватность представленных расчётных моделей.

Ключевые слова: рельс, деформация, силовая нагрузка, подвижной состав, тензорезистор, усилитель, точность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бржезовский А.М. Методы экспериментальной оценки боковых сил (обзор) // Вестник ВНИИЖТ. 2017. Т. 76. № 1. С. 10 – 18.

2 ГОСТ 34759-2021. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний. Введ. 1.02.2022. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 31 с.

3 Ромен Ю. С. Динамика железнодорожного экипажа в рельсовой колее. Методы расчета и испытаний. М.: ВМГ- Принт, 2014. 210 с.

4 Суслов О.А. Определение сил взаимодействия в системе колесо – рельс на основании измерения напряжений в шейке рельса / Ю. С. Ромен, О. А. Суслов, А. А. Баляева // Вестник ВНИИЖТ. 2017. Т. 76. № 6. С. 354 – 361.

5 E14-440. Внешний модуль АЦП/ЦАП на шину USB. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.lcard.ru/products/external/e-440> (Дата обращения 1.03.2023).

6 ZETLAB. Тензорезисторы серии 2ФКП. [Электронный ресурс]. URL: <https://zetlab.com/shop/datchiki/tensodatchiki/tenzorezistoryi/2fkp/> (Дата обращения 1.03.2023).

Незнанов Александр Иванович
ФГБОУ ВО Орловский
государственный университет
имени И.С. Тургенева
К.т.н., старший преподаватель
кафедры приборостроения,
метрологии и сертификации
302020, Орел, Наугорское
шоссе, 29
Тел. 8(960)641-45-92

Подмастерьев Константин Валентинович
ФГБОУ ВО Орловский
государственный университет имени
И.С. Тургенева
Д.т.н., профессор, директор института
приборостроения, автоматизации и
информационных технологий
302020, Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. 8(961)620-55-50

Суслов Олег Александрович
АО "Научно-исследовательский
институт железнодорожного
транспорта"
Д.т.н., технический эксперт
Научного центра «Рельсы,
сварка, транспортное
материаловедение»
г. Москва, ул. 3-я
Мытищинская, д.10

A.I. NEZNANOV, K.V. PODMASTER'EV, O.A. SUSLOV

SCHEMES FOR SIGNAL AMPLIFICATION FROM STRAIN-RESISTIVE SENSORS UNDER CONTROL OF THE STRAIN STATE OF THE RAIL

Annotation. *In this article, the problems of controlling the stressed state of the rail, as well as the force factors acting on the track, during testing of the rolling stock are considered. Methods for placing strain gauges on rails for measuring deformations, lateral and vertical forces acting on rails under the influence of loads are presented. The circuits for switching on primary converters are given, and their sensitivity and accuracy are mathematically analyzed due to the spread of the initial values of the resistance of strain gauges, the possibility of circuit compensation of the specified error is shown. The results of computer simulation of the indicated circuits for switching on primary converters are also presented, showing the adequacy of the presented calculation models.*

Keywords: *railway, deformation, power load, rolling stock, strain gauge, amplifier, accuracy.*

BIBLIOGRAPHY

1. Brzhezovskij A.M. Metody eksperimental'noj ocenki bokovyh sil (obzor) // Vestnik VNIIZHT. 2017. Т. 76. № 1. С. 10 – 18.

2. GOST 34759-2021. ZHeleznodorozhnyj podvizhnoj sostav. Normy dopustimogo vozdejstviya na zheleznodorozhnyj put' i metody ispytanij. Vved. 1.02.2022. М.: Rossijskij institut standartizacii, 2021. 31 s.

3. Romen YU. S. Dinamika zheleznodorozhnogo ekipazha v rel'sovoj kolee. Metody rascheta i ispytanij. М.: VMG- Print, 2014. 210 s.

4. Suslov O.A. Opredelenie sil vzaimodejstviya v sisteme koleso – rel's na osnovanii izmereniya napryazhenij v shejke rel'sa / YU. S. Romen, O. A. Suslov, A. A. Balyaeva // Vestnik VNIIZHT. 2017. Т. 76. № 6. С. 354 – 361.

5. E14-440. Vneshnij modul' ACP/CAP na shinu USB. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.lcard.ru/products/external/e-440> (Data obrashcheniya 1.03.2023).

6. ZETLAB. Tenzorezistory serii 2FKP. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://zetlab.com/shop/datchiki/tensodatchiki/tenzorezistoryi/2fkp/> (Data obrashcheniya 1.03.2023).

Neznanov Alexander Ivanovich
Oryol State University named after
I.S. Turgenev
Candidate of Technical Sciences,
Senior Lecturer of the Department

Podmasterjev Konstantin Valentinovich
Oryol State University named after I.S.
Turgenev
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Director of the Institute of Instrument

Suslov Oleg Alexandrovich
JSC "Scientific Research
Institute of Railway Transport"
Doctor of Technical Sciences,
Technical Expert of the Research

of Instrument Engineering,
Metrology and Certification
302020, Orel, Naugorskoye
highway, 29
Tel. 8(960)641-45-92

Engineering, Automation and Information
Technology
302020, Orel, Naugorskoye highway, 29
Tel. 8(961)620-55-50

Center "Rails, Welding,
Transport Materials Science"
Moscow, st. 3rd
Mytishchinskaya, 10

© А.И. Незнанов, К.В. Подмастерьев, О.А. Суслов, 2023

КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА, ИСПЫТАНИЯ **И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ**

УДК 621.311.1

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-359-3-173-182

А.Н. КАЧАНОВ, В.А. ТИМОХИН, Н.А.КАЧАНОВ

ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ В ЗОНЕ ПРОКЛАДКИ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ «ELCUT»

Аннотация. В статье рассмотрен алгоритм оценки электромагнитной обстановки базирующийся на лицензионном программном продукте ELCUT. Алгоритм состоит из двух взаимосвязанных частей обеспечивающих проведение диагностики основных параметров электромагнитного поля E и H в охранной зоне кабельной линии напряжением 0,4 – 110 кВ вдоль трассы прокладки с учетом режимов её работы, выбранной системы заземления экранов, электрофизических свойств всех элементов, входящих в состав предлагаемой расчетно-геометрической модели трехфазной кабельной сети, как на стадии проектирования, так и в процессе её эксплуатации.

Ключевые слова: кабельная линия, диагностика, алгоритм оценки, расчетно-геометрическая модель, программа ELCUT, напряженность электрического и магнитного полей, электромагнитная обстановка, электрофизические свойства материалов, охранная зона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51317.4.5–99 Государственный стандарт Российской Федерации. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытаний. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000 г. – 31 с.
2. О порядке установления охранных зон объектов электросетевого хозяйства и особых условий использования земельных участков, расположенных в границах таких зон: постановление Правительства РФ от 24 февраля 2009 г. N 160 // Собрание законодательства Российской Федерации от 2009 г., № 10, ст. 1220.
3. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: Федеральный закон №52-ФЗ от 30 марта 1999 г.: [федер. закон: принят Гос. Думой 12 марта 1999 г.: по состоянию на 22 мая 2022 г.] // Президент России (официальный сайт) [Электронный ресурс] – Режим доступа – <http://www.kremlin.ru/acts/bank/13636>. – Дата обращения: 21.02.2023.
4. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.4.3359 – 16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. // Постановление главного государственного врача Российской Федерации от 21 июня 2016 г., № 81.
5. СанПиН 2.1.2.2645-10 Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 27 с.
6. Тимохин, В.А. Оценка эффективности работы кабельного хозяйства АО «Орёлблэнерго» / В.А. Тимохин, А.Н. Качанов, В.С. Пеньков // Материалы XVIII международной научно-практической конференции (8 – 10 декабря 2019 г.) / Под. ред. докт. тен. наук, проф. А.Н Качанова, докт. тен. наук, проф. Ю.С. Степанова. – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева), 2020. – С 24 - 28.
7. Дмитриев, М.В. Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6 – 10 кВ / М.В. Дмитриев // Спб: Изд-во Политехнического университета, 2010. – 154 с.
8. Халилов Ф.Х., Кузнецов Д.В. Способы увеличения пропускной способности КЛ с изоляцией из сшитого полиэтилена // Кабель-NEWS. - 2009. - № 9, с.62-66.
9. Грешняков Г.В., Ковалёв Г.Г., Коровкин Н.В., Дубицкий С.Д. Полевые методы в кабельных задачах // Использование компьютерного моделирования и численных расчетов для решения инженерных задач в различных областях проектирования и разработки на основе применения программы “ELCUT”: сб. статей. – СПб.: Любавич, 2015. – 210 с.
10. Качанов, А.Н. Оценка электромагнитной обстановки в зоне эксплуатации воздушных линий электропередач / А.Н. Качанов, В.В. Каменский. // Материалы XIX международной научно-практической

конференции (10 – 12 ноября 2021 г., г. Орёл) / под редакцией д-ра техн. наук, проф. А.Н. Качанова, д-ра техн. наук, проф. Ю.С. Степанова. – Орёл: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2021. – С. 43-48

11. Качанов, А.Н. Оценка электромагнитной обстановки на энергетических и промышленных объектах в программной среде ELCUT / А.Н. Качанов, В.В. Каменский. // Материалы докладов II международной научно-практической on-line конференции «Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты». – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022, – С. 8-13.

12. Качанов, А.Н. Методика контроля электромагнитной обстановки в санитарно-охранной зоне воздушной линии электропередачи / А.Н. Качанов, В.В. Каменский, Н.А. Качанов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии / г. Орел, ОГУ имени И.С. Тургенева, № 6 (356), 2022. – С. 130 -138

Качанов Александр Николаевич

ФГБОУ ВО «ОГУ им.

И.С. Тургенева»

Академик АЭН РФ, доктор

технических наук, профессор,

заведующий кафедрой

электрооборудования и

энергосбережения

302020, г. Орел, Наугорское

шоссе, 29

тел.: +7 (4862) 41 98 53;

E-mail: kan@ostu.ru

Тимохин Вячеслав Александрович

доктор электротехники,

Заслуженный энергетик РФ,

главный инженер АО

«Орёлблэнерго». 302030, г.

Орёл, площадь Поликарпова, 8,

тел.: 8 (4862) 55 08 04

Качанов Николай Александрович

АО «Орелоблэнерго», г. Орел

Заместитель начальника службы

АТиРЗ

302030, г. Орел, Пл. Поликарпова,

8

e-mail: nk3575@mail.ru

A.N. KACHANOV, V.A. TIMOKHIN, N.A. KACHANOV

DIAGNOSTICS OF THE ELECTROMAGNETIC SITUATION IN THE ZONE OF CABLE LINE LAYING IN THE "ELCUT" SOFTWARE ENVIRONMENT

Annotation. *The article considers an algorithm for assessing the electromagnetic environment based on the licensed software product ELCUT. The algorithm consists of two interrelated parts that provide diagnostics of the main parameters of the electromagnetic field E and H in the security zone of cable lines with a voltage of 0.4 - 110 kV along the laying route, taking into account its operating modes, the selected screen grounding system, the electrophysical properties of all elements that make up the of the proposed calculation-geometric model of a three-phase cable network, both at the design stage and during its operation.*

Keywords: *cable line, diagnostics, estimation algorithm, calculation-geometric model, ELCUT program, electric and magnetic field strength, electromagnetic environment, electrophysical properties of materials, security zone.*

BIBLIOGRAPHY

1. GOST R 51317.4.5–99 State Standard of the Russian Federation. Compatibility of technical means is electromagnetic. Immunity to microsecond impulse noise of high energy. Requirements and test methods. - M: IPK Standards Publishing House, 2000 - 31 p.

2. On the procedure for establishing security zones of electric grid facilities and special conditions for the use of land plots located within the boundaries of such zones: Decree of the Government of the Russian Federation of February 24, 2009 N 160 // Collection of Legislation of the Russian Federation of 2009, No. 10, Art. 1220.

3. On the sanitary and epidemiological well-being of the population: Federal Law No. 52-FZ of March 30, 1999: [feder. law: adopted by the State. Duma on March 12, 1999: as of May 22, 2022] // President of Russia (official website) [Electronic resource] - Access mode - <http://www.kremlin.ru/acts/bank/13636>. – Date of access: 02/21/2023.

4. Sanitary and epidemiological rules and regulations: SanPiN 2.2.4.3359 - 16. Sanitary and epidemiological requirements for physical factors in the workplace. // Decree of the chief state doctor of the Russian Federation of June 21, 2016, No. 81.

5. SanPiN 2.1.2.2645-10 Sanitary and epidemiological requirements for living conditions in residential buildings and premises: Sanitary and epidemiological rules and regulations. - M.: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2010. - 27 p.

6. Timokhin, V.A. Evaluation of the efficiency of the cable facilities of JSC "Oreloblenergo" / V.A. Timokhin, A.N. Kachanov, V.S. Perkov // Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference (December 8 - 10, 2019) / Under. ed. doc. ten. sciences, prof. A.N. Kachanova, Dr. ten. sciences, prof. Yu.S. Stepanova. - Eagle: OSU named after I.S. Turgenyev, 2020. - From 24 - 28.

7. Dmitriev, M.V. Grounding of screens of single-phase power cables 6 - 10 kV / M.V. Dmitriev // St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University, 2010. - 154 p.

8. Khalilov F.Kh., Kuznetsov D.V. Methods for increasing the throughput of CL with XLPE insulation // Cable-NEWS. - 2009. - No. 9, pp. 62-66.

9. Greshnyakov G.V., Kovalev G.G., Korovkin N.V., Dubitsky S.D. Field methods in cable problems // Use of computer modeling and numerical calculations for solving engineering problems in various areas of design and development based on the application of the ELCUT program: Sat. articles. - St. Petersburg: Lyubavich, 2015. - 210 p.

10. Kachanov, A.N. Evaluation of the electromagnetic situation in the operation zone of overhead power lines / A.N. Kachanov, V.V. Kamensky. // Proceedings of the XIX International Scientific and Practical Conference (November 10 - 12, 2021, Orel) / edited by Dr. tech. sciences, prof. A.N. Kachanov, Dr. tech. sciences, prof. Yu.S. Stepanova. - Eagle: OSU im. I.S. Turgenev, 2021. - S. 43-48

11. Kachanov, A.N. Evaluation of the electromagnetic environment at energy and industrial facilities in the ELCUT software environment / A.N. Kachanov, V.V. Kamensky. // Proceedings of the II International Scientific and Practical On-line Conference "Electric Networks: Reliability, Safety, Energy Saving and Economic Aspects" - Kazan: Kazan State Power Engineering University, 2022, - P. 8-13.

12. Kachanov, A.N. Methods of monitoring the electromagnetic situation in the sanitary protection zone of an overhead power line / A.N. Kachanov, V.V. Kamensky, N.A. Kachanov // Fundamental and applied problems of engineering and technology / Orel, OGU named after I.S. Turgenev, No. 6 (356), 2022. - P. 130 -138

Kachanov Alexander Nikolaevich

FGBOU VO "OSU named after I.S. Turgenev"
Academician of the AEN of the Russian Federation,
Doctor of Technical Sciences,
Professor, Head of the Department of Electrical Equipment and Energy Conservation
302020, Orel, Naugorskoeshosse, 29
tel. 8 (4862) 41 98 53.
E-mail: kan@ostu.ru

Timokhin Vyacheslav Alexandrovich

Doctor of Electrical Engineering,
Honored Power Engineer of the Russian Federation, Chief Engineer of Oryoloblenergo JSC. 302030, Oryol, Polikarpov square, 8,
tel.: 8 (4862) 55 08 04

Kachanov Nikolai Alexandrovich

Oreoblenergo JSC, Orel
Deputy Head of ATiRZ Service
302030, Orel, Sq. Polikarpova, 8
E-mail: nk3575@mail.ru

© А.Н. Качанов, В.А. Тимохин, Н.А.Качанов, 2023

УДК 615.074

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-359-3-183-190

А.А. ЛУКИН, Т.А. ИСРИГОВА

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ИНДЕНТИФИКАЦИИ МИКРОПЛАСТИКА В ПИЩЕВЫХ СИСТЕМАХ

Аннотация. В статье приведен сравнительный анализ рамановской спектроскопии. Рассмотрены теоретические и физические основы эффекта комбинационного рассеивания. Представлены преимущества и показаны недостатки рамановской спектроскопии и других методик для обнаружения микропластика. Обсуждены важные вопросы, связанные с подготовкой проб. Приведены примеры применения рамановской спектроскопии для идентификации микропластика в пищевых системах.

Ключевые слова: микропластик, методики определения, рамановская спектроскопия, пищевые системы, микроскопия, идентификация микропластика

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Plastics Europe (2019) Plastics - the Facts 2019. An analysis of European plastics production, demand and waste data. Plastics Europe, <https://www.plasticseurope.org/de/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>
2. Carpenter, E.J. Polystyrene Spherules in Coastal Waters / E.J. Carpenter, S.J. Anderson, G.R. Harvey, H.P. Miklas, B.B. Peck // Science. – 1972. - № 178. – P. 749-750.
3. Thompson, R.C. Lost at Sea: Where Is All the Plastic? / R.C. Thompson, Y. Olsen, R.P. Mitchell, A. Davis, S.J. Rowland, A.W.G. John, D. McGonigle, A.E. Russell // Science. – 2004. - № 304. – P. 5672.
4. Shim, W.J. Identification methods in microplastic analysis: a review / W.J. Shim, S.H. Hong, S.E. Eo // Analytical Methods. – 2017. - № 9(9). – P. 1384–1391.
5. Ghosal, S. Molecular identification of polymers and anthropogenic particles extracted from oceanic water and fish stomach –A Raman micro-spectroscopy study / S. Ghosal, M. Chen, J. Wagner, Z.-M. Wang, S. Wall // Environmental Pollution. – 2018. - № 233. – P. 1113–1124.
6. Collard, F. Detection of Anthropogenic Particles in Fish Stomachs: An Isolation Method Adapted to Identification by Raman Spectroscopy / F. Collard, B. Gilbert, G. Eppe, E. Parmentier, K. Das // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 2015. - № 69(3). – P. 331–339.

7. Chen, G. An overview of analytical methods for detecting microplastics in the atmosphere / G. Chen, Z. Fu, H. Yang, J. Wang // *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. – 2020. - № 130. – P. 115981.
8. Rodriguez, C.M. Identification and quantitation of semi-crystalline microplastics using image analysis and differential scanning calorimetry / C.M. Rodriguez, I. Sierra, P.A. Pérez, L. Fornaro // *Environmental Science and Pollution Research International*. – 2018. – № 25(17). – P. 16767–16775.
9. Majewsky, M. Determination of microplastic polyethylene (PE) and polypropylene (PP) in environmental samples using thermal analysis (TGA-DSC) / M. Majewsky, H. Bitter, E. Eiche, H. Horn // *Science of the Total Environment*. – 2016. - № 568. – P. 507–511.
10. Xu, J.-L. FTIR and Raman imaging for microplastics analysis: state of the art, challenges and prospects / J.-L. Xu, K.V. Thomas, Z. Luo, A.A. Gowen // *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. – 2019. – № 119. – P. 115629.
11. Karami, A. The presence of microplastics in commercial salts from different countries / A. Karami, A. Golieskardi, C. Keong Choo, V. Larat, T.S. Galloway, B. Salamatinia // *Sci. Rep.* – 2017b. – № 7. – P. 1–9.
12. Gündogdu, S. Contamination of table salts from Turkey with microplastics / S. Gündogdu // *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control. Expo. Risk Assess.* – 2018. – № 35. – P. 1006–1014.
13. Prata, C. Identification of microplastics in white wines capped with polyethylene stoppers using micro-Raman spectroscopy / C. Prata, A. Paço, V. Reis, A.J.S. Fernandes, F.M. da Costa, A.C. Duarte, T. Rocha-Santos // *Food Chem.* – 2020b. – № 331. – P. 127–323.
14. Shruti, V.C. First study of its kind on the microplastic contamination of soft drinks, cold tea and energy drinks - future research and environmental considerations / V.C. Shruti, F. P´erez-Guevara, I. Elizalde-Martínez, G. Kutralam-Muniasamy // *Sci. Total Environ.* – 2020. – № 726. – P. 1–10.
15. Oßmann, B.E. Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water / B.E. Oßmann, G. Sarau, H. Holtmannspotter, M. Pischetsrieder, S.H. Christiansen, W. Dicke, // *Water Res.* – 2018. – № 141. – P. 307–316.

Лукин Александр Анатольевич

ФГБОУ ВО Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова, г. Махачкала
 ФГАОУ ВО Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), г. Челябинск
 доцент кафедры пищевые и биотехнологии
 Кандидат технических наук, доцент
 454080, г. Челябинск, ул. проспект Ленина, 76
 Тел. +7(906)854-76-06
 E-mail: lukin3415@gmail.com

Исригова Татьяна Александровна

ФГБОУ ВО Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова, г. Махачкала
 Доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры товароведения, технологий продуктов и общественного питания
 367032, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Магомета Гаджиева, 180
 E-mail: isrigova@mail.ru

A.A. LUKIN, T.A. ISRIGOVA

COMPARATIVE ANALYSIS OF RAMAN SPECTROSCOPY FOR THE IDENTIFICATION OF MICROPLASTICS IN FOOD SYSTEMS

Abstract. *The article presents a comparative analysis of Raman spectroscopy. The theoretical and physical foundations of the Raman scattering effect are considered. The advantages and disadvantages of Raman spectroscopy and other techniques for detecting microplastics are presented. Important issues related to sample preparation were discussed. Examples of the use of Raman spectroscopy for the identification of microplastics in food systems are given.*

Keywords: *microplastics, detection methods, Raman spectroscopy, food systems, microscopy, identification of microplastics*

BIBLIOGRAPHY

1. Plastics Europe (2019) Plastics - the Facts 2019. An analysis of European plastics production, demand and waste data. Plastics Europe, <https://www.plasticseurope.org/de/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>
2. Carpenter, E.J. Polystyrene Spherules in Coastal Waters / E.J. Carpenter, S.J. Anderson, G.R. Harvey, H.P. Miklas, B.B. Peck // *Science*. – 1972. - № 178. – P. 749-750.
3. Thompson, R.C. Lost at Sea: Where Is All the Plastic? / R.C. Thompson, Y. Olsen, R.P. Mitchell, A. Davis, S.J. Rowland, A.W.G. John, D. McGonigle, A.E. Russell // *Science*. – 2004. - № 304. – P. 5672.
4. Shim, W.J. Identification methods in microplastic analysis: a review / W.J. Shim, S.H. Hong, S.E. Eo // *Analytical Methods*. – 2017. - № 9(9). – P. 1384–1391.
5. Ghosal, S. Molecular identification of polymers and anthropogenic particles extracted from oceanic water and fish stomach –A Raman micro-spectroscopy study / S. Ghosal, M. Chen, J. Wagner, Z.-M. Wang, S. Wall // *Environmental Pollution*. – 2018. - № 233. – P. 1113–1124.

6. Collard, F. Detection of Anthropogenic Particles in Fish Stomachs: An Isolation Method Adapted to Identification by Raman Spectroscopy / F. Collard, B. Gilbert, G. Eppe, E. Parmentier, K. Das // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 2015. - № 69(3). – P. 331–339.
7. Chen, G. An overview of analytical methods for detecting microplastics in the atmosphere / G. Chen, Z. Fu, H. Yang, J. Wang // TrAC Trends in Analytical Chemistry. – 2020. - № 130. – P. 115981.
8. Rodríguez, C.M. Identification and quantitation of semi-crystalline microplastics using image analysis and differential scanning calorimetry / C.M. Rodríguez, I. Sierra, P.A. Pérez, L. Fornaro // Environmental Science and Pollution Research International. – 2018. – № 25(17). – P. 16767–16775.
9. Majewsky, M. Determination of microplastic polyethylene (PE) and polypropylene (PP) in environmental samples using thermal analysis (TGA-DSC) / M. Majewsky, H. Bitter, E. Eiche, H. Horn // Science of the Total Environment. – 2016. - № 568. – P. 507–511.
10. Xu, J.-L. FTIR and Raman imaging for microplastics analysis: state of the art, challenges and prospects / J.-L. Xu, K.V. Thomas, Z. Luo, A.A. Gowen // TrAC Trends in Analytical Chemistry. – 2019. – № 119. – P. 115629.
11. Karami, A. The presence of microplastics in commercial salts from different countries / A. Karami, A. Golieskardi, C. Keong Choo, V. Larat, T.S. Galloway, B. Salamatinia // Sci. Rep. – 2017b. – № 7. – P. 1–9.
12. Gündogdu, S. Contamination of table salts from Turkey with microplastics / S. Gündogdu // Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control. Expo. Risk Assess. – 2018. – № 35. – P. 1006–1014.
13. Prata, C. Identification of microplastics in white wines capped with polyethylene stoppers using micro-Raman spectroscopy / C. Prata, A. Paço, V. Reis, A.J.S. Fernandes, F.M. da Costa, A.C. Duarte, T. Rocha-Santos // Food Chem. – 2020b. – № 331. – P. 127–323.
14. Shruti, V.C. First study of its kind on the microplastic contamination of soft drinks, cold tea and energy drinks - future research and environmental considerations / V.C. Shruti, F. Pérez-Guevara, I. Elizalde-Martínez, G. Kutralam-Muniasamy // Sci. Total Environ. – 2020. – № 726. – P. 1–10.
15. Oßmann, B.E. Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water / B.E. Oßmann, G. Sarau, H. Holtmannspotter, M. Pischetsrieder, S.H. Christiansen, W. Dicke, // Water Res. – 2018. – № 141. – P. 307–316.

Lukin Aleksander Anatolievich

Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov, Makhachkala
South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk
Associate Professor of the Department of Food and Biotechnology
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
454080, Chelyabinsk, st. Lenin Avenue, 76
Tel. +7(906)854-76-06
E-mail: lukin3415@gmail.com

Isrigova Tatyana Aleksandrovna

Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov, Makhachkala
Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Commodity Science, Food Technology and Public Catering
367032, Republic of Dagestan, Makhachkala, st. Mohammed Hajiyev, 180
E-mail: isrigova@mail.ru

© А.А. Лукин, Т.А. Истригова, 2023

УДК 620.179.1

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-359-3-191-197

Н.С. КОВАЛЬ, В.А. ЛЕБЕДЕВ, А.А. ШИРИН

МЕТОД КОНТРОЛЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФЕРРОМАГНИТНЫХ АГРЕГАТОВ ШЛАМОВЫХ ОТХОДОВ

Аннотация. *Технология переработки шламовых отходов с помощью вращающегося электромагнитного поля включает операцию измельчения ферромагнитных агрегатов. Применение традиционных методов контроля степени измельчения является весьма трудоемким и затратным. В этой связи целью работы является обоснование возможности использования метода контроля гранулометрических характеристик ферромагнитных конгломератов шламовых отходов по величине удельного электрического сопротивления. А так же исследование с его помощью основных параметров процесса измельчения частиц.*

Проведенные исследования позволили получить зависимость между средним диаметром ферромагнитного агрегата и удельным электрическим сопротивлением спрессованных образцов. На ее основе получены зависимости частоты вращающегося электромагнитного поля и продолжительности процесса измельчения от степени и интенсивности процесса измельчения.

Ключевые слова: *вращающееся электромагнитное поле, удельное электрическое сопротивление, измерение, размер частиц, шламовые отходы, ферромагнитный агрегат*

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев, В. А. Технологическое обеспечение переработки шламовых отходов шлифовального производства с применением электромагнитного поля / В. А. Лебедев, А. А. Ширин, Н. С. Коваль, Ю. М. Вернигоров // Воронежский научно-технический вестник. – 2022. – № 2(40). – С.30-37.
2. 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.
3. Буряк, В.В. Удельное электрическое сопротивление углеродных материалов / В.В. Буряк, Г.Н. Васильченко, Т.В. Чирка, С.М.Константинов // Новые огнеупоры. – 2013. - №5. – С. 48-52.
4. Батиенков, Р. В. Исследование удельного электрического сопротивления порошковых Mo–W сплавов, полученных методом искрового плазменного спекания / Р.В. Батиенков, Ефимочкин, И. Ю., Худнев А. А. // Труды ВИАМ. - 2019. - №7 (79). – С. 50-58.
5. Манжуев, В. М. Удельное электрическое сопротивление сплавов на основе железо-никель с повышенным содержанием железа / В. М. Манжуев, Э. Л. Санеев // Наука, техника и образование. - 2016. - №1 (19). – С. 25-28.
6. 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.
7. 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.
8. Дьяконов, О. М. Шламы металлообрабатывающего производства / О. М. Дьяконов // Литье и металлургия. - 2010. - № 1–2. - С. 154–159.
9. 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.
10. 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.
11. Либенсон, Г.А. Процессы порошк. Мет: в 2-х т. Т.1. Производство металлических порошков / Г.А. Либенсон, Лопатин В.Ю., Комарницкий Г.В./ МИСИС.- М., 2001.-368 с.
12. 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.

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

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

METHOD FOR CONTROL OF GRANULOMETRIC CHARACTERISTICS OF FERROMAGNETIC AGGREGATES OF SLUDGE WASTE

Abstract. *The technology for processing sludge waste using a rotating electromagnetic field includes the operation of grinding ferromagnetic aggregates. The use of traditional methods for controlling the degree of grinding is very laborious and costly. In this regard, the purpose of the work is to substantiate the possibility of using a method for monitoring the granulometric characteristics of ferromagnetic conglomerates of sludge waste by the value of electrical resistivity. As well as the study with its help of the main parameters of the process of grinding particles.*

The conducted studies made it possible to obtain the dependence between the average diameter of the ferromagnetic aggregate and the specific electrical resistance of the pressed samples. On its basis, the dependences of the frequency of the rotating electromagnetic field and the duration of the grinding process on the degree and intensity of the grinding process were obtained.

Keywords: *rotating electromagnetic field, electrical resistivity, measurement, particle size, sludge waste, ferromagnetic aggregate*

BIBLIOGRAPHY

1. Lebedev, V. A. Tekhnologicheskoye obespecheniye pererabotki shlamovykh otkhodov shlifovalnogo proizvodstva s primeneniym elektromagnitnogo polya / V. A. Lebedev, A. A. Shirin, N. S. Koval', YU. M. Vernigorov // Voronezhskiy nauchno-tekhnicheskiiy vestnik. – 2022. - № 2(40). – S.30-37.
2. Lebedev, V. A. Issledovaniye protsessa pererabotki konglomeratov shlifoval'nogo shlama v ustroystvakh s vrashchayushchimsya elektromagnitnym polem // Advanced Engineering Research. - 2022. - №. 4. – S. 338-345.
3. Buryak, V.V. Udel'noye elektricheskoye soprotivleniye uglerodnykh materialov / V.V. Buryak, G.N. Vasil'chenko, T.V. Chirka, S.M.Konstantinov // Novyye ognepory. – 2013. - №5. – S. 48-52.
4. Batiyenko, R. V. Issledovaniye udel'nogo elektricheskogo soprotivleniya poroshkovykh Mo–W splavov, poluchennykh metodom iskrovogo plazmennogo spekaniya / R.V. Batiyenko, Yefimochkin, I. YU., Khudnev A. A. // Trudy VIAM. - 2019. - №7 (79). – S. 50-58.
5. Manzhuyev, V. M. Udel'noye elektricheskoye soprotivleniye splavov na osnove zhelezo-nikel s povyshennym sodержaniyem zheleza / V. M. Manzhuyev, E. L. Saneyev // Nauka, tekhnika i obrazovaniye. - 2016. - №1 (19). – S. 25-28.
6. 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.
7. Kayak, G. L. Razrabotka tekhnologii utilizatsii shlifovalnogo shlama / G. L. Kayak, V. S. Fomenko, V. V. Andreyev // Vestnik inzhenernoy shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta. - 2017. - № 1 (30). - S. 60–67.
8. Dyakonov, O. M. Shlamy metalloobratyvyayushchego proizvodstva / O. M. D'yakonov // Lite i metallurgiya. - 2010. - № 1–2. - S. 154–159.
9. 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.
10. 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.
11. Libenson, G.A. Protsessy poroshk. Met: v 2-kh t. T.1. Proizvodstvo metallicheskikh poroshkov / G.A. Libenson, Lopatin V.YU., Komarnitskiy G.V./ MISIS.- M., 2001.-368 s.
12. Lebedev, V. A.. Energeticheskiye aspekty izmelcheniya ferromagnitnykh chastits shlifoval'nogo shlama vo vrashchayushchemsya elektromagnitnom pole / V. A. Lebedev, A. A. Shirin, N. S. Koval // Transport Engineering. - 2022. - №. 1-2 (1-2). - S. 29-39.

Lebedev Valery Alexandrovich
Don State Technical University,
Rostov-on-Don
Professor. of the Departmen of
Engineering Technique
344004, Rostov-on-Don, pl. Gagarina, 1
E-mail: va.lebedev@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

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 26.06.2023 г.
Дата выхода в свет 06.07.2023 г.
Формат 70X108/16. Усл. печ. л. 12,375
Цена свободная. Тираж 1000 экз.
Заказ №170

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