

ISSN 2073-7408

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ
И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ**

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

4 (360) 2023

Редколлегия

Главный редактор

Радченко С.Ю. д-р техн. наук, проф.

Заместители главного редактора:

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

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)

Запонец 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)

Ответственный редактор:

Тюхта А.В. канд. техн. наук

Адрес редакции

302030, Орловская обл., г. Орел, ул.

Московская, 34

+7 (905) 169 88 99

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

E-mail: radsu@rambler.ru

Зарег. в Федеральной службе по

надзору в сфере связи, информационных

технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство ПИ № ФС77-67029

от 30 августа 2016 года

Подписной индекс 29504

по объединенному каталогу

«Пресса России»

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

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2023

Журнал индексируется в системе

Российского индекса научного цитирования

РИНЦ, а также в международных системах

Chemical Abstracts и Google Scholar.

В соответствии с письмом ВАК от 06.12.2022

№02-1198 «О Перечне рецензируемых

научных изданий», журнал

«Фундаментальные и прикладные проблемы

техники и технологии» как издание,

входящее в международную базу данных

Chemical Abstracts, приравнивается к

изданиям категории К1.

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).

Содержание

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

Секция «Механические и биомеханические системы»

Бохонский А.И., Варминская Н.И. Преобразование реверсионно сконструированного оптимального управления в эквивалентное по энергоемкости	3
Собянина Г.Н., Мальков С.Ю., Павлов М.И. Проводная система передачи биоэлектрических потенциалов лабораторного животного в условиях гипербарического стенда	8
Гайнуллина Я.Н., Калинин М.И. Оценка деформативности элементов глубоководных систем при сложном нагружении	16
Гуськова А.С., Сафронов Е.В., Носко А.Л. Тормозной ролик рекуперативного торможения для паллетных гравитационных стеллажей	25
Злобин С.Н., Маслов М.А., Копылов С.О. Применение объектной модели для конструирования устройств для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами	34
Люминарский И.Е., Люминарский С.Е., Люминарская Е.С. Анализ напряженно-деформированного состояния гибкого колеса волновой зубчатой передачи	41
Моисеев Д.В., Брюховцев А.А. Модели распределения ресурсов защиты для смягчения отказов узлов на основе метода вектора спада в условиях действия атак в сетях 5G	47
Моисеев Д.В., Доронина Ю.В. Атипичная неопределенность решений при стохастических начальных условиях дифференциальных моделей искусственных иммунных систем	56
Полищев В.П., Гарматюк М.И., Полищев В.В. Исследование параметров жидкостного дыхания аппарата с замкнутым дыхательным контуром	66
Шарифуллин И.А., Носко А.Л., Сафронов Е.В. Метод выбора тормозных роликов магнитного типа для паллетных гравитационных стеллажей	73
Шкапов П.М., Сулимов А.В., Сулимов В.Д. Анализ устойчивости по Якоби и восстановление параметров эллиптического маятника с демпфированием	81

Секция «Технологии, материалы и инструменты»

Неменко А.В., Никитин М.М. Непрямые оценки качества поверхности второго порядка при финишной обработке	89
Василенко С.В. Разработка неразрушающего метода и устройства контроля, диагностики и защиты электродвигателей	95
Дологолюня А.В., Матвеев В.Т., Клименко А.Г. Термодинамические характеристики гибридных солнечных комбинированных микрогазотурбинных установок	102
Дологолюня А.В., Матвеев В.Т., Клименко А.Г. Характеристики гибридных солнечных комбинированных микрогазотурбинных установок на частичных нагрузках при различных способах нагружения	112
Дударев А.С., Баяндин Е.В. Роботизированное шлифование лопаток газотурбинных двигателей	126
Ефремова Л.С., Чемакина Т.Л. Применение бетона и железобетона в корпусных конструкциях	131
Куксенова Л.И., Алексеева М.С., Козлов Д.А. Износостойкость азотированных сталей при разных условиях триботехнических испытаний	137
Шагалеев Р.Р., Лавриненко В.Ю. Разработка технологического процесса изготовления детали «зашивка» на листоштамповочном молоте с бабкой с наполнителем	148
Мухамедзянова А.А., Яппаров Р.Т., Ихсанов И.А. Влияние группового состава нефтяных остатков на склонность к расслоению в условиях высокотемпературного нагрева	156
Денисов М.С., Чеботарев П.А., Давыдов К.Е., Петухова С.М., Пылинов И.А. Расчет и проектирование технологической оснастки для производства заготовок поршней ДВС на гидропрессовом оборудовании	164
Серезжин М.А., Гроссман М.Ф. Определение механических свойств вытяжного инструмента, изготовленного методом FDM печати	172
Харченко А.О., Головин В.И., Владецкий Е.А. Повышение эффективности сверления и резбонарезания электроинструментом в машино- и судостроении	184
Харченко А.О., Харченко А.А. Оценка эффективности гибкого производственного модуля на основе решения обратной задачи массового обслуживания	194
Типалин С.А., Куприянова Н.А. Правка сжатием листовых биметаллических заготовок малой кривизны	202
Бусалаев Д.В., Ляшенко М.В., Шеховцов В.В., Потапов П.В., Морсков М.В., Клементьев Е.В. Резинометаллические виброизоляторы в системах поддрессирования кабин колесных и гусеничных машин	209
Бусалаев Д.В., Ляшенко М.В., Шеховцов В.В., Потапов П.В., Морсков М.В., Клементьев Е.В. Стойка передней подвески автомобиля с улучшением характеристик плавности хода и виброзащиты	221
Фетисов А.С., Литовченко М.Г., Шутин Д.В. Генетические алгоритмы для оптимального проектирования триботронных опор роторов	230
Неменко А.В., Никитин М.М. Оптимизация технологического процесса получения асферических поверхностей вращения второго порядка	240

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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Responsible editor:

Tyukhta A.V. Candidate Sc. Tech.

Address

302030, Oryol region, Oryol, st.

Moskovskaya, 34

+7 (905) 169 88 99

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

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

Section "Mechanical and biomechanical systems"

<i>Bokhonsky A.I., Varminskaya N.I. Transformation of a reversibly constructed optimal control into an equivalent control by energy intensity.....</i>	3
<i>Sobyanina G.N., Malkov S.U., Pavlov M.I. Wired system for transmission of bioelectric potentials of a laboratory animal under the conditions of a hyperbaric stand.....</i>	8
<i>Gainullina Ya.N., Kalinin M.I. Assessment of deformability of elements of deep-water systems under complex loading.....</i>	16
<i>Guskova A.S., Safronov E.V., Nosko A.L. Regenerative brake roller for pallet gravity racks.....</i>	25
<i>Zlobin S.N., Maslov M.A., Kopylov S.O. Application of an object model for the design of devices to increase the coupling of the driving wheels of a locomotive with rails.....</i>	34
<i>Luminarsky I.E., Luminarsky S.E., Luminarskaya E.S. Analysis of the stress-strain state of a flexible wave gear wheel.....</i>	41
<i>Moiseev D.V., Bryukhovetskiy A.A. Protection resource allocation models to mitigate node failures based on the method of the decline vector in the conditions of attacks in 5G networks.....</i>	47
<i>Moiseev D.V., Doronina Yu.V. Atypical uncertainty of solutions under stochastic initial conditions of differential models of artificial immune systems.....</i>	56
<i>Polivtsev V.P., Garmatyuk M.I., Polivtsev V.V. Study of liquid breathing parameters device with closed breathing circuit.....</i>	66
<i>Sharifullin I.A., Nosko A.L., Safronov E.V. Selection method for magnetic type brake rollers for pallet flow rack.....</i>	73
<i>Shkapov P.M., Sulimov A.V., Sulimov V.D. Jacobi stability analysis and restoring parameters of the damped elliptical pendulum.....</i>	81

Section "Technologies, materials and tools"

<i>Nemenko A.V., Nikitin M.M. Indirect evaluations of second-order surface quality during finishing.....</i>	89
<i>Vasilenko S.V. Development of a non-destructive method and device for monitoring, diagnostics and protection of electric motors.....</i>	95
<i>Dologlonyan A.V., Matviienko V.T., Klimenko A.G. Thermodynamic characteristics of hybrid solar combined microgas turbine plants.....</i>	102
<i>Dologlonyan A.V., Matviienko V.T., Klimenko A.G. Characteristics of hybrid solar combined microgas turbine plants for partial loads under different loading methods.....</i>	112
<i>Dudarev A.S., Bayandin E.V. Robotic grinding process of blades of gas turbine engines.....</i>	126
<i>Efremova L.S., Chemakina T.L. The use of concrete and reinforced concrete in housing structures.....</i>	131
<i>Kuksenova L.I., Alekseeva M.S., Kozlov D.A. Wear resistance of nitrided steels at different tribotechnical test conditions.....</i>	137
<i>Shagaleev R.R., Lavrinenko V.Yu. The development of a technological process for manufacturing the part «shell» on sheet stamping hammer using a hammer head with a filler.....</i>	148
<i>Mukhamedzyanova A.A., Yapparov R.T., Ikhsanov I.A. Influence of the group composition of oil residues for tendency to delamination in conditions of high-temperature heating.....</i>	156
<i>Denisov M.S., Chebotarev P.A., Davydov K.E., Petukhova S.M., Pylinov I.A. Calculation and design of technological equipment for the production of blanks of internal combustion engine pistons on hydraulic press equipment.....</i>	164
<i>Serezhkin M.A., Grossman M.F. Determination of mechanical properties of drawing tools made by the FDM printing method.....</i>	172
<i>Kharchenko A.O., Golovin V.I., Vladetskaya E.A. Increasing the efficiency of drilling and threading with electric tools in machine- and shipbuilding.....</i>	184
<i>Kharchenko A.O., Kharchenko A.A. Evaluation of the effectiveness of a flexible production module based on solving the inverse queuing problem.....</i>	194
<i>Tipalin S.A., Kupriyanova N.A. Correction by compression of sheet bimetallic billets of small curvature.....</i>	202
<i>Busalaev D.V., Lyashenko M.V., Shekhovtsov V.V., Potapov P.V., Morskov M.V., Klementiev E.V. Rubber-metal vibration isolators for cabin suspensions of wheeled and tracked vehicles.....</i>	209
<i>Busalaev D.V., Lyashenko M.V., Shekhovtsov V.V., Potapov P.V., Morskov M.V., Klementiev E.V. Vehicle front suspension strut for improvement of ride comfort and vibration protection characteristics.....</i>	221
<i>Fetisov A.S., Litovchenko M.G., Shutin D.V. Genetic algorithms for the optimal design of tribotronic rotor bearings.....</i>	230
<i>Nemenko A.V., Nikitin M.M. Optimization of second order surface technological process.....</i>	240

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).

СЕКЦИЯ «МЕХАНИЧЕСКИЕ И БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»

УДК 517.97: 51-74: 621.865.8

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-360-4-3-7

А.И. БОХОНСКИЙ, Н.И. ВАРМИНСКАЯ

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ РЕВЕРСИОННО СКОНСТРУИРОВАННОГО ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭКВИВАЛЕНТНОЕ ПО ЭНЕРГОЕМКОСТИ

Аннотация. На примере объекта с одной степенью свободы проиллюстрирован алгоритм эквивалентного (по принятым условиям) преобразования исходного оптимального управления типа «разгон-торможение» в другой, который упрощает практическую реализацию (с использованием двигателей постоянного либо переменного тока). Достижение цели движения происходит аналогично исходному прототипу при минимальной энергоёмкости.

Ключевые слова: оптимальное управление, энергоёмкость, эквивалентное преобразование, тождественное динамическое поведение нового объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красовский Н.Н. Теория управления движением / Н.Н. Красовский. – М.: Наука, 1968. – 476 с.
2. Карновский И.А. Методы оптимального управления колебаниями деформируемых систем / И.А. Карновский, Ю.М. Почтман. – К.: Вища шк., 1982. – 116 с.
3. Бутковский А.Г. Методы управления системами с распределёнными параметрами / А.Г. Бутковский. – М.: Наука, 1975. – 568 с.
4. Бохонский А.И. Реверсионный принцип оптимальности / А.И. Бохонский. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2016. – 174 с.
5. Бохонский А.И. Механика управляемого движения объектов / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, Т.В. Мозолевская. – М.: ИНФРА-М, 2021. – 170 с.
6. Бохонский А.И. Конструирование оптимальных управлений перемещением упругих объектов / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская. – С-Пб.: НИЦ МС, 2020. – 120 с.
7. Бохонский А.И. Оценка энергоёмкости 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.
8. 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.
9. Бохонский А.И. Экспериментальная проверка оптимального управления переносным движением деформируемых объектов / А.И. Бохонский, М.М. Майстришин, Э.О. Балаканов, И.В. Гусаков // *Оптимизация производственных процессов*. – Севастополь: СевНТУ, 2010. – № 12. – С. 66 – 72.
10. Бохонский А.И. Экспериментальная проверка оптимального вращения упругого стержня / А.И. Бохонский, М.М. Майстришин, А.И. Рыжков // *Автоматизация и измерения в машиноприборостроении*. – Севастополь: Изд-во СГУ, 2020. – № 2 (10). – С. 3 – 16..
11. Бохонский А.И. Равенство определенных интегралов с различными подынтегральными функциями / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, Т.В. Мозолевская // *Фундаментальные основы механики*. – С-Пб.: НИЦ МС, 2023. – № 11. – С. 18 – 22.
12. Маркеев А.П. О принципе наименьшего принуждения / А.П. Маркеев // *Соросовский образовательный журнал*. – 1998. – № 1. – С. 113 – 121.

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

TRANSFORMATION OF A REVERSIONONLY CONSTRUCTED OPTIMAL CONTROL INTO AN EQUIVALENT CONTROL BY ENERGY INTENSITY

Abstract. *On the example of an object with one degree of freedom, an algorithm is shown for equivalent (according to the accepted conditions) transformation of the initial optimal control of the “acceleration-deceleration” type into another, which facilitates the simplification of practical implementation using DC or AC motors. Achieving the goal of movement is similar to the original prototype with a minimum energy consumption.*

Keywords: *optimal control, energy consumption, equivalent transformation, identical dynamic behavior of objects.*

BIBLIOGRAPHY

1. Krasovskij N.N. Teoriya upravleniya dvizheniem / N.N. Krasovskij. – M.: Nauka, 1968. – 476 s.
2. Karnovskij I.A. Metody optimalnogo upravleniya kolebaniyami deformiruemym sistem / I.A. Karnovskij, YU.M. Pochtman. – K.: Vishcha shk., 1982. – 116 s.
3. Butkovskij A.G. Metody upravleniya sistemami s raspredelennymi parametrami / A.G. Butkovskij. – M.: Nauka, 1975. – 568 s.
4. Bokhonsky A.I. Reversionnyj princip optimalnosti / A.I. Bokhonsky. – M.: Vuzovskij uchebnik: INFRA-M, 2016. – 174 s.
5. Bokhonsky A.I. Mekhanika upravlyaemogo dvizheniya ob"ektov / A.I. Bokhonsky, N.I. Varminskaya, T.V. Mozolevskaya. – M.: INFRA-M, 2021. – 170 s.
6. Bokhonsky A.I. Konstruirovaniye optimalnykh upravlenij peremeshcheniem uprugih ob"ektov / A.I. Bokhonsky, N.I. Varminskaya. – S-Pb.: NIC MS, 2020. – 120 s.
7. Bokhonsky A.I. Ocenka energoemkosti minimalnogo prinuzhdeniya celenapravlennoogo dvizheniya ob"ekta / A.I. Bokhonsky, N.I. Varminskaya, A.I. Ryzhkov // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva, 2022. – № 1 (351). – С. 15 – 20.
8. Bokhonsky A.I. Algoritm konstruirovaniya optimalnogo dvizheniya uprugogo ob"ekta / A.I. Bokhonsky, N.I. Varminskaya, T.V. Mozolevskaya, A.I. Ryzhkov // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva, 2021. – № 4 (348). – С. 33 – 38.
9. Bokhonsky A.I. Eksperimentalnaya proverka optimalnogo upravleniya perenosnym dvizheniem deformiruemym ob"ektov / A.I. Bokhonsky, M.M. Majstrishin, E.O. Balakanov, I.V. Gusakov // Optimizatsiya proizvodstvennykh processov. – Sevastopol: SevNTU, 2010. – № 12. – С. 66 – 72.
10. Bokhonsky A.I. Eksperimentalnaya proverka optimalnogo vrashcheniya uprugogo sterzhnya / A.I. Bokhonsky, M.M. Majstrishin, A.I. Ryzhkov // Avtomatizatsiya i izmereniya v mashinopriborostroenii. – Sevastopol: Izd-vo SGU, 2020. – № 2 (10). – С. 3 – 16.
11. Bokhonsky A.I. Ravenstvo opredelennykh integralov s razlichnymi podyntegralnymi funktsiyami / A.I. Bokhonsky, N.I. Varminskaya, T.V. Mozolevskaya // Fundamentalnye osnovy mekhaniki. – S-Pb.: NIC MS, 2023. – № 11. – С. 18 – 22.
12. Markeev A.P. O principe naimenshego prinuzhdeniya / A.P. Markeev // Sorosovskij obrazovatelnyj zhurnal. – 1998. – № 1. – С. 113 – 121.

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

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

УДК 612.216.2

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-360-4-8-15

Г.Н. СОБЯНИНА, С.Ю. МАЛЬКОВ, М.И. ПАВЛОВ

ПРОВОДНАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ ЛАБОРАТОРНОГО ЖИВОТНОГО В УСЛОВИЯХ ГИПЕРБАРИЧЕСКОГО СТЕНДА

Аннотация. В статье представлены конструктивные особенности проводной системы передачи биоэлектрических потенциалов лабораторного животного. Разработанное и сконструированное техническое устройство предназначено для осуществления опытно-экспериментальных работ при исследовании жидкостной искусственной вентиляции легких биологических объектов в условиях избыточного давления водной среды гипербарического стенда.

Ключевые слова: лабораторные животные, технология жидкостного дыхания, гипербарический стенд

Работа выполнена при поддержке программы *Приоритет-2030 ФГАОУ ВО "Севастопольский государственный университет"* (стратегический проект №2 "Прорывные исследования и разработки в области жидкостного дыхания").

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баринов В.А., Бонитенко Е.Ю., Белякова Н.А., Родченкова П.В., Тоньшин А.А., Панфилов А.В., Бала А.М., Головки А.И., Шилов В.В. Использование перфторуглеродных жидкостей в лечении респираторного дистресс-синдрома (обзор литературы) Medline.ru. Российский биомедицинский журнал. 2022. Т. 23. № 1. С. 515-555.
2. Котский М.А., Бонитенко Е.Ю., Макаров А.Ф., Каниболоцкий А.А., Кочоян А.Л., Литвинов Н.А. О возможности использования жидкостного дыхания для профилактики развития декомпрессионных нарушений. *Медицина труда и промышленная экология*. 2022;62(2):91-100.<https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-2-91-100>
3. Котский М.А., Бонитенко Е.Ю., Тоньшин А.А., Родченкова П.В., Муравская М.П., Ткачук Ю.В., Каниболоцкий А.А., Кочоян А.Л. Жидкостная респираторная десатурация — новый метод профилактики декомпрессионной болезни. *Медицина труда и промышленная экология*. 2023;63(1):4-17. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-1-4-17>
4. Мороз В.В., Остапченко Д.А., Власенко А.В., Осипов П.Ю., Герасимов Л.В. Эндотрахеальное применение перфторана в условиях ИВЛ у больных с острым респираторным дистресс-синдромом // *Общая реаниматология*, 2005. С.5-11. [Moroz V.V., Ostapchenko D.A., Vlasenko A.V., Osipov P.Yu., Gerasimov L.V. Endotracheal use of perftoran under mechanical ventilation in patients with acute respiratory distress syndrome. *General resuscitation*, 2005. - P.5-11. (In Russ.)].
5. Мороз В.В., Власенко А.В., Закс И.О. Жидкостная вентиляция легких, ее возможности и перспективы (современное состояние вопроса) // *Анестезиология и реаниматология*, 2001. N 6. - С.66 - 73. [Moroz V. V., Vlasenko A. V., Zaks I. O. Liquid ventilation of the lungs, its possibilities and prospects (current state of the issue). *Anesthesiology and resuscitation*, 2001. N 6. Pp.66 - 73 (In Russ.)].
6. Поддубный С.К., Елохова Ю.А. Влияние занятий дайвингом на сердечно-сосудистую систему человека // *Современные проблемы науки и образования*. – 2013. – № 6.; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=11514> (дата обращения: 20.05.2022).
7. Попцов В.Н., Баландюк А.Е. Первый клинический опыт использования частичной жидкостной вентиляции на основе эндобронхиального введения перфторана в комплексной терапии респираторного дистресс-синдрома. *Биомедицинский журнал Medline.ru*, 2004. Т. 5. - С. 173-174. [Poptsov V.N., Balandyuk A.E. The first clinical experience of using partial liquid ventilation based on endobronchial administration of perftoran in the complex therapy of respiratory distress syndrome. *Biomedical journal Medline.ru*, 2004. V. 5. Pp. 173-174. (In Russ.)].
8. Собянина Г.Н., Мальков С.Ю. Технология жидкостной искусственной вентиляции легких биообъектов в испытательном гипербарическом стенде/ Собянина Г.Н., Мальков С.Ю. // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. — Орел: ОГУ им. И.С.Тургенева, 2022. — 4(354) — С. 109-114.
9. Warren L.Lee, Arthur S.Slutsky *Acute Hypoxemic Respiratory Failure and ARDS Murray and Nadels Textbook of Respiratory Medicine (Sixth Edition) Volume 2, 2016, Pages 1740-1760.e7.*
10. Hirschl RB, Croce M, Gore D, et al. Prospective, randomized, controlled pilot study of partial liquid ventilation in adult acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 165:781.
11. Suman Sarkar, Anil Paswan, S. Prakas. Liquid ventilation/ *Anesth Essays Res*. 2014. Sep-Dec; 8(3): pp.277–282.

Собянина Галина Николаевна
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник НИЛ «Экспериментальные системы

Мальков Сергей Юрьевич
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Врач по водолазной медицине (специфизолог), руководитель медико-биологической группы НИЛ «Экспериментальные

Павлов Михаил Игоревич
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Инженер 2 категории НИЛ «Экспериментальные системы жизнеобеспечения биологических объектов»

жизнеобеспечения биологических объектов»
299053, Россия, г. Севастополь, ул. Гоголя, 14
Моб. тел. +7(978) 868 53 62
E-mail: galsob@rambler.ru

системы жизнеобеспечения биологических объектов»
299053, Россия, г. Севастополь, ул. Гоголя, 14
Моб. тел. +7(978) 748 51 00
E-mail: sklif@bk.ru

299053, Россия, г. Севастополь, ул. Гоголя, 14
Моб. тел. +7(978)838-88-24
E-mail: mixail.pavlov.1993@mail.ru

G.N. SOBYANINA, S.U. MALKOV, M.I. PAVLOV

WIRED SYSTEM FOR TRANSMISSION OF BIOELECTRIC POTENTIALS OF A LABORATORY ANIMAL UNDER THE CONDITIONS OF A HYPERBARIC STAND

Abstract. *The article presents the design features of a wired system for the transmission of bioelectric potentials of a laboratory animal. The developed and constructed technical device is intended for the implementation of experimental work in the study of liquid artificial ventilation of light biological objects under conditions of excess pressure of the aquatic environment of a hyperbaric stand.*

Keywords: *laboratory animals, liquid breathing technology, hyperbaric stand.*

BIBLIOGRAPHY

1. Barinov V.A., Bonitenko E.YU., Belyakova N.A., Rodchenkova P.V., Tonshin A.A., Panfilov A.V., Bala A.M., Golovko A.I., SHilov V.V. Ispolzovanie perftoruglerodnyh zhidkostej v lechenii respiratornogo distress-sindroma (obzor literatury) Medline.ru. Rossijskij biomeditsinskij zhurnal. 2022. T. 23. № 1. S. 515-555.
2. Kotskij M.A., Bonitenko E.YU., Makarov A.F., Kanibolockij A.A., Kochoyan A.L., Litvinov N.A. O vozmozhnosti ispolzovaniya zhidkostnogo dyhaniya dlya profilaktiki razvitiya dekompressionnyh narushenij. Medicina truda i promyshlennaya ekologiya. 2022;62(2):91-100. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-2-91-100>
3. Kotskij M.A., Bonitenko E.YU., Tonshin A.A., Rodchenkova P.V., Muravskaya M.P., Tkachuk YU.V., Kanibolockij A.A., Kochoyan A.L. ZHidkostnaya respiratornaya desaturaciya — novyj metod profilaktiki dekompressionnoj bolezni. Medicina truda i promyshlennaya ekologiya. 2023;63(1):4-17. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-1-4-17>
4. Moroz V.V., Ostapchenko D.A., Vlasenko A.V., Osipov P.YU., Gerasimov L.V. Endotrahealnoe primenenie perftorana v usloviyah IVL u bolnyh s ostrym respiratornym distress-sindromom /| Obshchaya reanimatologiya, 2005. S.5-11. [Moroz V.V., Ostapchenko D.A., Vlasenko A.V., Osipov P.Yu., Gerasimov L.V. Endotracheal use of perftoran under mechanical ventilation in patients with acute respiratory distress syndrome. General resuscitation, 2005. - P.5-11. (In Russ.)].
5. Moroz V.V., Vlasenko A.V., Zaks I.O. ZHidkostnaya ventilyaciya legkih, ee vozmozhnosti i perspektivy (sovremennoe sostoyanie voprosa) // Anesteziologiya i reanimatologiya, 2001. N 6. - S.66 - 73. [Moroz V. V., Vlasenko A. V., Zaks I. O. Liquid ventilation of the lungs, its possibilities and prospects (current state of the issue). Anesthesiology and resuscitation, 2001. N 6. Pp.66 - 73 (In Russ.)].
6. Poddubnyj S.K., Elohova YU.A. Vliyanie zanyatij dajvingom na serdechno-sosudistuyu sistemu cheloveka // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. — 2013. — № 6.; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=11514> (data obrashcheniya: 20.05.2022).
7. Popcov V.N., Balandyuk A.E. Pervyj klinicheskij opyt ispolzovaniya chastichnoj zhidkostnoj ventilyacii na osnove endobronhialnogo vvedeniya perftorana v kompleksnoj terapii respiratornogo distress-sindroma. Biomeditsinskij zhurnal Medline.ru, 2004. T. 5. - S. 173-174. [Poptsov V.N., Balandyuk A.E. The first clinical experience of using partial liquid ventilation based on endobronchial administration of perftoran in the complex therapy of respiratory distress syndrome. Biomedical journal Medline.ru, 2004. V. 5. Pp. 173-174. (In Russ.)].
8. Sobyantina G.N., Malkov S.YU. Tekhnologiya zhidkostnoj iskusstvennoj ventilyacii legkih bioob"ektov v ispytatelnom giperbaricheskom stende/ Sobyantina G.N., Malkov S.YU. // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. — Orel: OGU im. I.S.Turgeneva, 2022. — 4(354) — S. 109-114.
9. Warren L.Lee, Arthur S. Slutsky Acute Hypoxemic Respiratory Failure and ARDS Murray and Nadels Textbook of Respiratory Medicine (Sixth Edition) Volume 2, 2016, Pages 1740-1760.e7.
10. Hirschl RB, Croce M, Gore D, et al. Prospective, randomized, controlled pilot study of partial liquid ventilation in adult acute respiratory distress syndrome. Am J Respir Crit Care Med 2002; 165:781.
11. Suman Sarkar, Anil Paswan, S. Prakas. Liquid ventilation/ Anesth Essays Res. 2014. Sep-Dec; 8(3): pp.277–282.

Sobyantina Galina Nikolaevna
Federal State Budget Educational
Institution of Higher Education
«Sevastopol State University»,
Sevastopol
Ph.D., Associate Professor, Senior
Researcher, Research Laboratory
"Experimental Life Support Systems
for Biological Objects"

Malkov Sergey Yurievich
Federal State Budget Educational
Institution of Higher Education
«Sevastopol State University»,
Sevastopol
Doctor in diving medicine (special
physiologist), head of the IBG
Research Laboratory "Experimental
Life Support Systems of Biological
Objects"

Pavlov Mikhail Igorevich
Federal State Budget Educational
Institution of Higher Education
«Sevastopol State University»,
Sevastopol
Engineer of the 2nd category of
Research Laboratory "Experimental
Life Support Systems of Biological
Objects"

299053, Russia, Sevastopol,
st. Gogol, 14
Ph.: +7(978) 868 53 62
E-mail: galsob@rambler.ru

Life Support Systems for Biological
Objects"
299053, Russia, Sevastopol,
st. Gogol, 14
Ph.: +7(978) 748 51 00
E-mail: sklif@bk.ru

299053, Russia, Sevastopol,
st. Gogol, 14
Ph.: +7(978)838-88-24
E-mail: mixail.pavlov.1993@mail.ru

© Г.Н. Собянина, С.Ю. Мальков, М.И. Павлов, 2023

УДК 551.46.077 (075.8)

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-360-4-16-24

Я.Н. ГАЙНУЛЛИНА, М.И. КАЛИНИН

ОЦЕНКА ДЕФОРМАТИВНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ГЛУБОКОВОДНЫХ СИСТЕМ ПРИ СЛОЖНОМ НАГРУЖЕНИИ

Аннотация. Деформативность грузонесущих элементов глубоководных систем определяющим образом влияет на долговечность эксплуатируемого гипербарического оборудования. Оценка факторов, которые существенно влияют на ресурс дорогостоящей оснастки и их качественное и количественное определение дают возможность значительно повысить эффективность применения глубоководных технических средств, задействованных в специальных исследованиях.

Ключевые слова: деформативность, грузонесущая броня, изгиб, кручение, растяжение, глубоководные исследования, жидкостное дыхание.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ветров А.П. Метод расчёта напряжённого состояния проволок при изготовлении стальных канатов. – Киев: Наукова думка, 1990. – 279 с.
2. Каталог. Кабели грузонесущие для морских и геофизических работ. – ПО«Электросигнал», 1990. – 257 с.
3. Белецкий В.В. Динамика космических тросовых систем / В.В. Белецкий, Е.Н. Левин. – М.: Наука, 1999. – 337 с.
4. Светлицкий В.А. Механика трубопроводов и шлангов. – М.: Машиностроение, 1982. – 297 с.
5. Когаев В.П. Расчёты на прочность при напряжениях, переменных во времени. – М.: Машиностроение, 1977г. – 233 с.
6. Меркин Д.Р. Введение в механику гибкой нити. – М.: Наука, 1980. – 239 с.
7. Сухоруков А.Л. Теория подводных тросовых систем и её инженерные приложения. – М.: Физматлит, 2017. – 271 с.
8. Стопцов Н.А. Связь под водой / Н.А. Стопцов, В.И. Бойцов, В.Н. Шелемин. – Л.: Судостроение, 1990. – 248 с.
9. Дмитриев А.Н. Подводные разведчики / А.Н. Дмитриев, Н.Л. Заферман, В.И. Неретин. – Л.: Судостроение, 1984. – 167 с.
10. Ястребов В.С. Системы и элементы глубоководной техники подводных исследований. – Л.: Судостроение, 1981. – 304 с.
11. Кулагин В.В. Теория морских биотехнических систем / В.В. Кулагин, Б.А. Журин. – Севастополь: НПЦ «Гидрофизика», 2010. – 331 с.
12. 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.
13. 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»,

Калинин Михаил Иванович
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный
университет»,

Научный сотрудник лаборатории
«Экспериментальные системы жизнеобеспечения
биологических объектов» г. Севастополь,
ул. Гоголя, д. 14
тел. +7(8692) 417741 доб. 1431
e-mail: medeya-ru@yandex.ru

кандидат технических наук, доцент, руководитель
группы лаборатории «Экспериментальные системы
жизнеобеспечения биологических объектов»
г. Севастополь, ул. Гоголя, д. 14
тел. +7(8692) 417741 доб. 1431
e-mail: kalinin2710@yandex.ru.ru

Y.A.N. GAINULLINA, M.I. KALININ

ASSESSMENT OF DEFORMABILITY OF ELEMENTS OF DEEP-WATER SYSTEMS UNDER COMPLEX LOADING

Abstract. *The deformability of the load-bearing elements of deep-sea systems has a decisive effect on the durability of the operated hyperbaric equipment. Assessment of factors that significantly affect the resource of expensive equipment and their qualitative and quantitative determination make it possible to significantly increase the effectiveness of the use of deep-sea technical means involved in special research.*

Keywords: *Deformability, load-bearing armor, bending, torsion, stretching, deep-sea research, liquid respiration.*

BIBLIOGRAPHY

1. Vetrov A.P. Metod raschta napryazhennogo sostoyaniya provolok pri izgotovlenii stalnih kanatov. – Kiev: Naykova dymka, 1990. – 279 s.
2. Katalog. Kabeli gryzonesushchie dlya morskikh i geofizicheskikh rabot. – PO «Elektrosignal», 1990. – 257 s.
3. Beletskij V.V. Dinamika kosmicheskikh trosovih sistem / V.V. Beletskij, E.N. Levin – M.: Nauka, 1999. – 337 s.
4. Svetlitskij V.A. Mehanika truboprovodov i shlangov. – M.: Mashinovedenie, 1982. – 297 s.
5. Kogaev V.P. Rascheti na prochnost pri napryazheniyah, peremennih vo vremeni. – M.: Mashinovedenie, 1977. – 233 s.
6. Merkin D.R. Vvedenie v mehaniku gibkoj niti. – M.: Nauka, 1980. – 239 s.
7. Syhorykov A.L. Teoriya podvodnih trosovih sistem i ee inzhenernie prilozheniya. – M.: Fizmat, 2017. – 271 s.
8. Stoptsov N.A. Svyaz pod vodoj / N.A. Stoptsov, V.I. Bojtsov, V.N. Shelemin. – L.: Sudostroenie, 1990. – 248 s.
9. Dmitriev A.N. Podvodnie razvedchiki / A.N. Dmitriev, N.L. Zaferman, V.I. Neretin. – L.: Sudostroenie, 1984. – 167 s.
10. Yastrebov V.S. Sistemi i elementi glybokovodnoj tehniki podvodnih issledovaniy. – L.: Sudostroenie, 1981. – 304 s.
11. Kulagin V.V. Teoriya morskikh biotekhnicheskikh sistm / V.V. Kulagin, B.A. Zhurid.. – Sevastopol: NPTs «Gidrofizika», 2010. – 331 s.
12. Gaynullina Y.N. Tehnicheskoe obespechenie processov zidkostnogo dihaniya / Y.N. Gaynullina, E.V. Pashkov, M.I. Kalinin, P.K. Sopin // Fyndamentalnie I prikladnie problemi tehniki I tehnologii. – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva. 2022. – № 4 (354). – S. 3 – 9.
13. Gaynullina Y.N. Razvitie tehnologii zidkostnogo dihaniya dlya obespecheniya dlitelnih glybokovodnih Issledovaniy / Y.N. Gaynullina, M.I. Kalinin, E.V. Pashkov, V.P. Polivcev // Fyndamentalnie I prikladnie problemi tehniki I tehnologii. – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva. 2021. – №6 (350). – S. 194 – 199.

Gainullina Yana Nikolaevna
Sevastopol State University,
Researcher at the laboratory "Experimental life Support
systems of biological objects", Sevastopol,
Gogol str., 14
tel. +7(8692) 417741 dob. 1431
e-mail: medeya-ru@yandex.ru

Kalinin Mikhail Ivanovich
Sevastopol State University,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the laboratory group "Experimental life support
systems for biological objects"
Sevastopol, Gogol str., 14 tel. +7(8692) 417741 dob. 1431
e-mail: kalinin2710@yandex.ru

© Я.Н. Гайнуллина, М.И. Калинин, 2023

А.С. ГУСЬКОВА, Е.В. САФРОНОВ, А.Л. НОСКО

ТОРМОЗНОЙ РОЛИК РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ ДЛЯ ПАЛЛЕТНЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ СТЕЛЛАЖЕЙ

Аннотация. Одним из основных элементов безопасной эксплуатации гравитационных роликовых конвейеров, применяемых в стеллажах для паллет, является тормозной ролик. Наиболее перспективной конструкцией является тормозной ролик рекуперативного торможения, принцип работы которого основан на использовании двух процессов протекающих одновременно - процесса генерации электрической энергии и процесса снижения скорости вращения обечайки ролика, а, следовательно, и скорости паллеты, за счет преодоления электромагнитного поля генераторов, встроенных в обечайку ролика. Разработана конструкция и изготовлен опытный отечественный образец тормозного ролика рекуперативного торможения. В зависимости от выполняемых функций и сферы применения ролика возможен расчет его выходных параметров, определяемых характеристиками генераторов и мультипликатора. В статье предлагаются варианты использования тормозного ролика рекуперативного торможения в автоматизированных системах функционирования склада.

Ключевые слова: тормозной ролик, гравитационный роликовый конвейер, паллета, генерация электроэнергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Derhami, S., Smith, JS., Gue, KR. (2017), Optimising space utilisation in block stacking warehouses, Int J Of Prod Res, Vol. 55, No. 21, 6436-6452
2. Ghalekhondabi, I., Masel, DT. (2018), Storage allocation in a warehouse based on the forklifts fleet availability, Journal Of Algorithms & Computational Technology, Vol. 12, No. 2, 127-135
3. Heragu, SS., Cai, X., Krishnamurthy, A., Malmberg, CJ. (2011), Analytical models for analysis of automated warehouse material handling systems, Int J Of Prod Res, Vol. 49, No. 22, 6833-6861
4. Lerher, T., Borovinsek, M., Ficko, M., Palcic, I. (2017), Parametric study of throughput performance in SBs/Rs based on simulation, Int J Of Simul Model, Vol. 16, No. 1, 96-107
5. Sulirova, I., Zavodska, L., Rakyta, M., Pelantova, V. (2017), State-of-the-art approaches to material transportation, handling and warehousing, 12th International scientific conference of young scientists on sustainable, modern and safe transport, Procedia Engineering, Vol. 192, 857-862
6. Accorsi, R., Baruffaldi, G., Manzini, R. (2017), Design and manage deep lane storage system layout. An iterative decision-support model, Int J Adv Manuf Technol, Vol. 92, No. 1-4, 57-67
7. Vujanac R., Miloradovic N., Vulovic S. (2016), Dynamic storage systems, ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering, Vol. XIV, 79-82.
8. Сафронов, Е. В. Устройства безопасной эксплуатации гравитационных роликовых конвейеров паллетного типа / Е. В. Сафронов, И. А. Шарифуллин, А. Л. Носко. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Литературное агентство "Университетская книга", 2018. – 72 с.
9. Wu S., Wu Ya., Wang Ya. (2016), A structured comparison study on storage racks system, Journal of Residuals Science & Technology, Vol. 13, No. 8, 2016
10. Metahri, D., Hachemi, K. (2017), Automated storage and retrieval systems: a performances comparison between Free-fall-flow-rack and classic flow-rack, 6-th International Conference On Systems And Control (ICSC 17), Edited by: Drid, S., Mehdi D., Aitouche, A., 589-594
11. Zaerpour, N., Yu, YG., de Koster RBM (2015), Storing Fresh Produce for Fast Retrieval in an Automated Compact Cross-Dock System, Production And Operations Management, Vol. 24, No. 8, 1266-1284
12. Halim, N.H.A., Jaffar, A., Yusoff, N., Adnan, A.N. (2012), Gravity Flow Racks material handling system for Just-in-Time (JIT) production, 2nd International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2012, IRIS 2012, Procedia Engineering, Vol. 41, 1714-1720
13. Nosko A.L., Safronov E.V., Soloviev V.A. (2018), Study of Friction and Wear Characteristics of the Friction Pair of Centrifugal Brake Rollers, Journal of Friction and Wear, Vol. 39, no. 2, 145-151.
14. Ивановский К.Е., Раковщик А.Н., Цоглин А.Н. Роликовые и дисковые конвейеры и устройства. М.: Машиностроение, 1973. 216 с.
15. Der RollenBahnen und Foerderanlagen Hersteller - euroroll.de // URL: <http://www.euroroll.de> (дата обращения: 26.02.2018).
16. Patent USA 165075. Roller for conveyers/ E.W. Zimmerman. Published 15.07.1926.
17. Patent USA 2618370. Roller conveyer/ O.J.B. Orwin. Published 16.11.1949.
18. Patent Germany EP2128048. Bremsrolleneinsatz, Bremsrolle und Rollenbahn/ Werner Langer GmbH & Co. Published 02.12.2009.
19. Patent USA 6467601. Brake roller for a roller conveyor / Erhard Schmale. Published 22.10.2002.

20. Patent USA 8887898. Conveyor roller with centrifugal force-operated magnetic brake / Interroll Holding AG. Published 18.11.2014.
21. Patent Germany DE202011106752. Bremsfoerderrolle / Bito-Lagertechnik Bittmann Gmbh. Published. 30.11.2011.
22. Magnetic Speed Controller 80. URL: <https://www.interroll.ru/fileadmin/products/en/Resources> (дата обращения: 16.10.2019).
23. Сидоренко И.В. Совершенствование методологии комплексной оценки загрязнения воздушного бассейна крупного города для обоснования мониторинга и системы контроля: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 03.00.16. Волгоград. 2008.
24. Методика оценки концентрации мелкодисперсных частиц PM10 при работе центробежных фрикционных роликов / Е. В. Сафронов, А. Л. Носко, И. А. Шарифуллин, А. С. Гуськова // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2022. – № 1. – С. 61-69.
25. Обеспечение безопасности и повышение эффективности работы гравитационного стеллажа для паллет: автореферат дис.... кандидата технических наук: 05.05.04 / Сафронов Евгений Викторович; [Место защиты: Моск. гос. техн. ун-т им. Н.Э. Баумана]. - Москва, 2019. - 16 с.
26. Метод расчета и выбора тормозных роликов магнитного типа для паллетных гравитационных стеллажей: автореферат дис.... кандидата технических наук: 05.05.04 / Шарифуллин Ильдар Азатович; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»]. - Москва, 2022. - 16 с.
27. Zekai Şen (2022). *Innovative standard degree-day indicator (SDI) concept and application for monthly energy consumption control*. Energy and Buildings, 270. doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112263.
28. Dhooma, J., & Baker, P. (2012). *An exploratory framework for energy conservation in existing warehouses*. International Journal of Logistics Research and Applications, 15(1), 37–51. doi:10.1080/13675567.2012.668877
29. Carli, R., Digiesi, S., Dotoli, M., & Facchini, F. (2020). *A Control Strategy for Smart Energy Charging of Warehouse Material Handling Equipment*. Procedia Manufacturing, 42, 503–510. doi:10.1016/j.promfg.2020.02.041
30. Füchtenhans, M., Glock, C. H., Grosse, E. H., & Zanon, S. (2021). *Using smart lighting systems to reduce energy costs in warehouses: A simulation study*. International Journal of Logistics Research and Applications, 1–19. doi:10.1080/13675567.2021.1937967
31. Kralikova, R., Andrejiova, M., & Wessely, E. (2015). *Energy Saving Techniques and Strategies for Illumination in Industry*. Procedia Engineering, 100, 187–195. doi:10.1016/j.proeng.2015.01.357
32. Кошевой, А. О. Разработка системы освещения склада на базе энергосберегающих светильников / А. О. Кошевой, И. В. Брейдо // Автоматика. Информатика. – 2020. – № 1. – С. 14-20.
33. Энергосбережение на холодильных складах, овощехранилищах. // URL: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/250598632> (дата обращения: 20.05.2023)
34. Shanmugam, M., Aravind, S., Yuvashree, K., JaiVignesh, M., Jagan Shrinivasan, R., & Santhanam, V. (2020). *Energy efficient intelligent light control with security system for materials handling warehouse*. Materials Today: Proceedings. doi:10.1016/j.matpr.2020.07.461
35. Li, X., Campana, P. E., Li, H., Yan, J., & Zhu, K. (2017). *Energy storage systems for refrigerated warehouses*. Energy Procedia, 143, 94–99. doi:10.1016/j.egypro.2017.12.653

Гуськова Анна Сергеевна
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва
Аспирант кафедры «Подъемно-транспортные системы»
105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
Тел. (499) 263–63–91
E-mail: guskovaas@student.bmstu.ru

Сафронов Евгений Викторович
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные системы»
105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
Тел. (499) 263–63–91
E-mail: safronov@bmstu.ru

Носко Андрей Леонидович
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва
Доктор технических наук, профессор кафедры «Подъемно-транспортные системы»
105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
Тел. (499) 263–63–91
E-mail: nosko@bmstu.ru

A.S. GUSKOVA, E.V. SAFRONOV, A.L. NOSKO

REGENERATIVE BRAKE ROLLER FOR PALLET GRAVITY RACKS

Abstract. *One of the main elements of safe operation of gravity roller conveyors used in pallet racks is a brake roller. The most promising design is a regenerative braking brake roller, the principle of operation of which is based on the use of two processes occurring simultaneously - the process of generating electrical energy and the process of reducing the speed of rotation of the roller shell, and, consequently, the speed of the pallet, by overcoming the electromagnetic field of generators built into the roller shell. A design has been developed and an experienced domestic sample of a regenerative braking brake roller has been manufactured. Depending on the functions performed and the scope of application of the roller, it is possible to calculate its output parameters determined by the characteristics of the generators and the multiplier. The article offers options for using a regenerative braking brake roller in automated warehouse operation systems.*

Keywords: *brake roller, gravity roller conveyor, pallet, power generation.*

BIBLIOGRAPHY

1. Derhami, S., Smith, JS., Gue, KR. (2017), Optimising space utilisation in block stacking warehouses, *Int J Of Prod Res*, Vol. 55, No. 21, 6436-6452
2. Ghalekhondabi, I., Masel, DT. (2018), Storage allocation in a warehouse based on the forklifts fleet availability, *Journal Of Algorithms & Computational Technology*, Vol. 12, No. 2, 127-135
3. Heragu, SS., Cai, X., Krishnamurthy, A., Malmberg, CJ. (2011), Analytical models for analysis of automated warehouse material handling systems, *Int J Of Prod Res*, Vol. 49, No. 22, 6833-6861
4. Lerher, T., Borovinek, M., Ficko, M., Palcic, I. (2017), Parametric study of throughput performance in SBs/Rs based on simulation, *Int J Of Simul Model*, Vol. 16, No. 1, 96-107
5. Sulirova, I., Zavodska, L., Rakyta, M., Pelantova, V. (2017), State-of-the-art approaches to material transportation, handling and warehousing, 12th International scientific conference of young scientists on sustainable, modern and safe transport, *Procedia Engineering*, Vol. 192, 857-862
6. Accorsi, R., Baruffaldi, G., Manzini, R. (2017), Design and manage deep lane storage system layout. An iterative decision-support model, *Int J Adv Manuf Technol*, Vol. 92, No. 1-4, 57-67
7. Vujanac R., Miloradovic N., Vulovic S. (2016), Dynamic storage systems, *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering*, Vol. XIV, 79-82.
8. Safronov, E. V. Ustrojstva bezopasnoj ekspluatacii gravitacionnyh rolikovyh konvejerov palletnogo tipa / E. V. Safronov, I. A. SHarifullin, A. L. Nosko. – Moskva: Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennostyu "Literaturnoe agentstvo "Universitetskaya kniga", 2018. – 72 s.
9. Wu S., Wu Ya., Wang Ya. (2016), A structured comparison study on storage racks system, *Journal of Residuals Science & Technology*, Vol. 13, No. 8, 2016
10. Metahri, D., Hachemi, K. (2017), Automated storage and retrieval systems: a performances comparison between Free-fall-flow-rack and classic flow-rack, 6-th International Conference On Systems And Control (ICSC 17), Edited by: Drid, S., Mehdi D., Aitouche, A., 589-594
11. Zaeppour, N., Yu, YG., de Koster RBM (2015), Storing Fresh Produce for Fast Retrieval in an Automated Compact Cross-Dock System, *Production And Operations Management*, Vol. 24, No. 8, 1266-1284
12. Halim, N.H.A., Jaffar, A., Yusoff, N., Adnan, A.N. (2012), Gravity Flow Racks material handling system for Just-in-Time (JIT) production, 2nd International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2012, IRIS 2012, *Procedia Engineering*, Vol. 41, 1714-1720
13. Nosko A.L., Safronov E.V., Soloviev V.A. (2018), Study of Friction and Wear Characteristics of the Friction Pair of Centrifugal Brake Rollers, *Journal of Friction and Wear*, Vol. 39, no. 2, 145-151.
14. Ivanovskij K.E., Rakovshhik A.N., TSoglin A.N. Rolikovy e i diskovy e konvejery i ustrojstva. M.: Mashinostroenie, 1973. 216 s.
15. Der Rollenbahnen und Foerderanlagen Hersteller - euroroll.de // URL: <http://www.euroroll.de> (дата обращения: 26.02.2018).
16. Patent USA 165075. Roller for conveyers/ E.W. Zimmerman. Published 15.07.1926.
17. Patent USA 2618370. Roller conveyer/ O.J.B. Orwin. Published 16.11.1949.
18. Patent Germany EP2128048. Bremsrolleneinsatz, Bremsrolle und Rollenbahn/ Werner Langer GmbH & Co. Published 02.12.2009.
19. Patent USA 6467601. Brake roller for a roller conveyor / Erhard Schmale. Published 22.10.2002.
20. Patent USA 8887898. Conveyor roller with centrifugal force-operated magnetic brake / Interroll Holding AG. Published 18.11.2014.
21. Patent Germany DE202011106752. Bremsfoerderrolle / Bito-Lagertechnik Bittmann GmbH. Published. 30.11.2011.
22. Magnetic Speed Controller 80. URL: <https://www.interroll.ru/fileadmin/products/en/Resources> (дата обращения: 16.10.2019).
23. Sidorenko I.V. Sovershenstvovanie metodologii kompleksnoj otsenki zagryazneniya vozdušnogo bassejna krupnogo goroda dlya obosnovaniya monitoringa i sistemy kontrolya: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 03.00.16. Volgograd. 2008.
24. Metodika otsenki konsentratsii melkodispersnykh chastits PM10 pri rabote tsentrobezhnykh friksionnykh rolikov / E. V. Safronov, A. L. Nosko, I. A. SHarifullin, A. S. Guskova // Nauchno-tehnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2022. – № 1. – S. 61-69.
25. Obespechenie bezopasnosti i povyshenie ehffektivnosti raboty gravitatsionnogo stellazha dlya pallet: avtoreferat dis.... kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.05.04 / Safronov Evgenij Viktorovich; [Mesto zashhity: Mosk. gos. tekhn. un-t im. N.EH. Baumana]. - Moskva, 2019. - 16 s.
26. Metod rascheta i vybora tormoznykh rolikov magnitnogo tipa dlya palletnykh gravitatsionnykh stellazhej: avtoreferat dis.... kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.05.04 / SHarifullin Ildar Azatovich; [Mesto zashhity: FGBOU VO «Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni N.EH. Baumana (natsionalnyj issledovatel'skij universitet)»]. - Moskva, 2022. - 16 s.
27. Zekai Şen (2022). Innovative standard degree-day indicator (SDI) concept and application for monthly energy consumption control. *Energy and Buildings*, 270. doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112263.
28. Dhooma, J., & Baker, P. (2012). An exploratory framework for energy conservation in existing warehouses. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 15(1), 37–51. doi:10.1080/13675567.2012.668877
29. Carli, R., Digiesi, S., Dotoli, M., & Facchini, F. (2020). A Control Strategy for Smart Energy Charging of Warehouse Material Handling Equipment. *Procedia Manufacturing*, 42, 503–510. doi:10.1016/j.promfg.2020.02.041

30. Füchtenhans, M., Glock, C. H., Grosse, E. H., & Zanoni, S. (2021). Using smart lighting systems to reduce energy costs in warehouses: A simulation study. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 1–19. doi:10.1080/13675567.2021.1937967
31. Kralikova, R., Andrejiova, M., & Wessely, E. (2015). Energy Saving Techniques and Strategies for Illumination in Industry. *Procedia Engineering*, 100, 187–195. doi:10.1016/j.proeng.2015.01.357
32. Koshevoj, A. O. Razrabotka sistemy osvesheniya sklada na baze ehnergosberegayushhikh svetilnikov / A. O. Koshevoj, I. V. Brejdo // *Avtomatika. Informatika.* – 2020. – № 1. – S. 14-20.
33. EHnergosberezhenie na kholodilnykh skladakh, ovoshhekhranilishhakh. // URL: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/250598632> (reference date: 20.05.2023)
34. Shanmugam, M., Aravind, S., Yuvashree, K., JaiVignesh, M., Jagan Shrinivasan, R., & Santhanam, V. (2020). Energy efficient intelligent light control with security system for materials handling warehouse. *Materials Today: Proceedings*. doi:10.1016/j.matpr.2020.07.461
35. Li, X., Campana, P. E., Li, H., Yan, J., & Zhu, K. (2017). Energy storage systems for refrigerated warehouses. *Energy Procedia*, 143, 94–99. doi:10.1016/j.egypro.2017.12.653

Guskova Anna Sergeevna
Bauman Moscow State Technical
University, Moscow
Postgraduate student of the
Department «Lifting and transport
Systems»
105005, Moscow, 2-ya Baumanskaya
ul., 5, str. 1
Ph.: (499) 263–63–91
E-mail: guskovaas@student.bmstu.ru

Safronov Evgeniy Viktorovich
Bauman Moscow State Technical
University, Moscow
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the
Department «Lifting and Transport
Systems»
105005, Moscow, 2-ya
Baumanskaya ul., 5, str. 1
Ph.: (499) 263–63–91
E-mail: safronov@bmstu.ru

Nosko Andrey Leonidovich
Bauman Moscow State Technical
University, Moscow
Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department «Lifting
and Transport Systems»
105005, Moscow, 2-ya
Baumanskaya ul., 5, str. 1
Ph.: (499) 263–63–91
E-mail: nosko@bmstu.ru

© А.С. Гуськова, Е.В. Сафронов, А.Л. Носко, 2023

УДК 629.4.021.2

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-360-4-34-40

С.Н. ЗЛОБИН, М.А. МАСЛОВ, С.О. КОПЫЛОВ

ПРИМЕНЕНИЕ ОБЪЕКТНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ ВЕДУЩИХ КОЛЕС ЛОКОМОТИВА С РЕЛЬСАМИ

Аннотация. Рассмотрена возможность применения объектной модели технических решений устройств для повышения сцепления колес локомотива с рельсами. Предложена конструкция устройства для устройств увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами, полученная с использованием объектной модели.

Ключевые слова: магнитный усилитель, коэффициента сцепления, увеличения сцепления, объектная модель, магнитный поток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vorobyev, V.I. Selection of the object model of the locomotive traction drive / V.I. Vorobyev, O.V. Izmerov, M.A. Maslov // *Bulletin of BSTU.* –2017. –№ 6(59). – Pp. 69-75.
2. Roth, K. Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Band 1. Konstruktionslehre / K. Roth. – Berlin: Springer, 2000. – 440 p.
3. Аверченков, В.И. Основы математического моделирования технических систем: учеб. пособие / В.И. Аверченков, В.П. Федоров, М.Л. Хейфец // Брянск, Изд-во БГТУ, 2004. – 271с.
4. Применение классификаций для поиска новых технических решений: монография / В.И. Воробьев, С.Н. Злобин, О.В. Измеров [и др.]. – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2022. – 189 с.
5. Антипин, Д.Я. Технические инновации как метод поиска рациональных решений для узлов тягового подвижного состава / Д.Я. Антипин, В. И. Воробьев, М.А. Маслов [и др.]. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2021. – 215 с.
6. Никитин, С.В. Моделирование новых технических решений локомотивов: учебное пособие / С.В. Никитин // Брянск: БИТМ, 1988. – 84 с.
7. Пат. 210410 U1 Российская Федерация, МПК В61С 15/08. Устройство для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.С. Космодамианский [и др.]. – № 2021133392; заявл. 17.11.2021; опубл. 14.04.2022.

8. Пат. 196905 U1 Рос. Федерация: МПК В61С 15/08. Устройство для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, М.А. Маслов [и др.]; заявитель и патентообладатель Космодамианский Андрей Сергеевич. – № 2019117486; заявл. 05.06.19; опубл. 19.03.20, Бюл. № 8.

9. Пат. 202706 U1 Рос. Федерация: МПК В61С 15/08. Устройство для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами / А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, М.А. Маслов [и др.]; заявитель и патентообладатель Космодамианский Андрей Сергеевич. – № 2020132322; заявл. 01.10.2020; опубл. 03.03.2021, Бюл. № 5.

Злобин Сергей Николаевич
Орловский государственный
университет имени
И.С. Тургенева, г. Орёл
Кандидат технических наук,
доцент, доцент кафедры
машиностроения
E-mail: zsn2@rambler.ru

Маслов Максим Александрович
Брянский государственный
технический университет
Ассистент кафедры
«Трубопроводные транспортные
системы»
E-mail: maslovmaksim32@mail.ru

Копылов Степан Олегович
ООО "ТМХ Инжиниринг"
Инженер-конструктор
E-mail: directr1993@yandex.ru

S.N. ZLOBIN, M.A. MASLOV, S.O. KOPYLOV

APPLICATION OF AN OBJECT MODEL FOR THE DESIGN OF DEVICES TO INCREASE THE COUPLING OF THE DRIVING WHEELS OF A LOCOMOTIVE WITH RAILS

Abstract. *The possibility of using an object model of technical solutions of devices to increase the coupling of locomotive wheels with rails is considered. The design of a device for increasing the coupling of the driving wheels of a locomotive with rails, obtained using an object model, is proposed.*

Keywords: *magnetic amplifier, coupling coefficient, coupling increase, object model, magnetic flux.*

BIBLIOGRAPHY

1. Vorobyev, V.I. Selection of the object model of the locomotive traction drive / V.I. Vorobyev, O.V. Izmerov, M.A. Maslov // Bulletin of BSTU. – 2017. – № 6(59). – Pp. 69-75.
2. Roth, K. Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Band 1. Konstruktionslehre / K. Roth. – Berlin: Springer, 2000. – 440 p.
3. Averchenkov, V.I. Osnovy matematicheskogo modelirovaniya tekhnicheskikh sistem: ucheb. posobie / V.I. Averchenkov, V.P. Fedorov, M.L. Hejfec // Bryansk, Izd-vo BGTU, 2004. – 271s.
4. Primenenie klassifikacij dlya poiska novyh tekhnicheskikh reshenij: monografiya / V.I. Vorobev, S.N. Zlobin, O.V. Izmerov [i dr.]. – Orel: OGU imeni I.S. Turgeneva, 2022. – 189 s.
5. Antipin, D.YA. Tekhnicheskie innovacii kak metod poiska racionalnyh reshenij dlya uzlov tyagovogo podvizhnogo sostava / D.YA. Antipin, V. I. Vorobev, M.A. Maslov [i dr.]. – Kursk: Zakrytoe akcionerное obshchestvo "Universitetskaya kniga", 2021. – 215 s.
6. Nikitin, S.V. Modelirovanie novyh tekhnicheskikh reshenij lokomotivov: uchebnoe posobie / S.V. Nikitin // Bryansk: BITM, 1988. – 84 s.
7. Pat. 210410 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK B61C 15/08. Ustrojstvo dlya uvelicheniya scepneniya vedushchih kolos lokomotiva s relsami / V.I. Vorobev, O.V. Izmerov, A.S. Kosmodamianskij [i dr.]. – № 2021133392; заявл. 17.11.2021; опубл. 14.04.2022.
8. Pat. 196905 U1 Ros. Federaciya: MPK B61C 15/08. Ustrojstvo dlya uvelicheniya scepneniya vedushchih kolos lokomotiva s relsami / V.I. Vorobev, O.V. Izmerov, M.A. Maslov [i dr.]; заявитель i patentoobladatel Kosmodamianskij Andrej Sergeevich. – № 2019117486; заявл. 05.06.19; опубл. 19.03.20, Byul. № 8.
9. Pat. 202706 U1 Ros. Federaciya: MPK B61C 15/08. Ustrojstvo dlya uvelicheniya scepneniya vedushchih kolos lokomotiva s relsami / A.S. Kosmodamianskij, V.I. Vorobev, M.A. Maslov [i dr.]; заявитель i patentoobladatel Kosmodamianskij Andrej Sergeevich. – № 2020132322; заявл. 01.10.2020; опубл. 03.03.2021, Byul. № 5.

Zlobin Sergey Nikolaevich
Orel State university, Orel
Candidate of technical sciences,
Associate Professor at the
Department of «Mechanical
engineering»
E-mail: zsn2@rambler.ru

Maslov Maxim Alexandrovich
Bryansk State Technical University
Assistant of the Department
"Pipeline transport systems"
E-mail: maslovmaksim32@mail.ru

Kopylov Stepan Olegovich
TMH Engineering LLC
Design Engineer
E-mail: directr1993@yandex.ru

© С.Н. Злобин, М.А. Маслов, С.О. Копылов, 2023

И.Е. ЛЮМИНАРСКИЙ, С.Е. ЛЮМИНАРСКИЙ, Е.С. ЛЮМИНАРСКАЯ

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГИБКОГО КОЛЕСА ВОЛНОВОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ

Аннотация. Объектом исследования является волновая зубчатая передача с кулачковым генератором волн. Одним из требований, предъявляемых к волновым зубчатым передачам, является повышение их нагрузочной способности. Нагрузочная способность во многом определяется усталостной прочностью гибкого колеса и долговечностью гибкого подшипника. В статье рассмотрена методика определения напряжений на переходной поверхности зубьев гибкого колеса. Методика учитывает упругие деформации гибкого колеса и жесткого колеса, наружного кольца гибкого подшипника, вала кулачка, вала гибкого колеса, а также контактные деформации зубьев, шариков гибкого подшипника, дорожек качения наружного и внутреннего колец гибкого подшипника. Расчет напряжений выполняется с использованием линейной теории оболочек и метода конечных элементов. По предложенной методике исследовано изменение напряжений в осевом и окружном направлениях.

Ключевые слова: волновая передача, гибкое колесо, жесткое колесо, генератор волн, главные напряжения, матрица узловых податливостей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гинзбург, Е.Г. Волновые зубчатые передачи / Е.Г. Гинзбург. – М.: Машиностроение, 1969. – 160 с.
2. Волков, Д.П. Волновые зубчатые передачи / Д.П. Волков, А.Ф. Крайнев. – Киев. Техника. 1976. – 224с.
3. Иванов, М.Н. Волновые зубчатые передачи / М.Н.Иванов. – Учеб. пособие для студентов вузов. Москва. Высшая школа, 1981. – 184 с.
4. Шувалов, С.А. Исследование напряжений в гибком зубчатом венце методом конечных элементов / С.А. Шувалов, В.Н. Горелов // Вестник машиностроения. –1983. – №1. – С.9 – 11.
5. Тимофеев, Г.А. Сравнительный анализ схемных решений приводов с волновыми зубчатыми передачами для следящих систем / Г.А. Тимофеев, М.В. Самойлова // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. – 2015. – № 4. – С. 109–118.
6. Тимофеев, Г.А. Структурные схемы и автоматизированное проектирование приводов с волновыми зубчатыми передачами / Г.А. Тимофеев, Д.С. Горбунов и др. // Приводы и компоненты машин. – 2020. – № 3–4. – С. 2–6.
7. Flavius, A. Ardelean. 3D modeling of the harmonic drive using "CATIA" / A. Ardelean Flavius // Annals of the Oradea University. Fascicle of Management and Technological Engineering. – 2007. – Vol. VI(XVI). – P. 882–885.
8. Dhaouadi, R. Modelling and Analysis of Nonlinear Stiffness, Hysteresis and Friction in Harmonic Drive Gear / R. Dhaouadi, F.H. Ghorbel // International Journal of Modelling and Simulation. – 2008. – vol. 28. – is. 3. – P. 329–336.
9. Стрельников, В.Н. Устранение интерференции зубьев в крупной волновой передаче / В.Н. Стрельников, Г.С. Суков, М.Г. Суков // Вестник национального технического университета "ХПИ". – 2013. – №41. – С.133 – 146.
10. Полетучий, А.И. Оптимизация параметров волновой зубчатой передачи по предельному вращающему моменту / А.И. Полетучий, Я.А. Степенко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2007. – №37. – С.73 – 79.
11. Люминарский, С.Е. Математическая модель волновой зубчатой передачи с дисковым генератором волн / С.Е. Люминарский, И.Е. Люминарский // Машиностроение и инженерное образование. – 2012. – №2. – С.45–52.
12. Люминарский, И.Е. Расчет сил взаимодействия элементов волновой зубчатой передачи / И.Е. Люминарский, С.Е. Люминарский // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. – 2011. – Спец. вып. «Энергетическое и транспортное машиностроение». – С. 230–240.

Люминарский Игорь Евгеньевич
ФГБОУ ВО «Московский
государственный технический
университет имени Н.Э.
Баумана (национальный
исследовательский
университет)»
Доктор технических наук,
профессор
«Теория механизмов и машин»
105005, г. Москва, 2-я
Бауманская ул., 5, стр. 1
Тел. (905) 508-92-14
E-mail: lie260@mail.ru

Люминарский Станислав Евгеньевич
ФГБОУ ВО «Московский
государственный технический
университет имени
Н.Э. Баумана (национальный
исследовательский университет)»
Кандидат технических наук,
доцент
«Теория механизмов и машин»
105005, г. Москва, 2-я Бауманская
ул., 5, стр. 1
Тел. (905) 508-92-14
E-mail: katjstas@mail.ru

Люминарская Екатерина Станиславовна
ФГБОУ ВО «Московский
государственный технический
университет имени
Н.Э. Баумана (национальный
исследовательский университет)»
Кандидат технических наук, доцент
«Электротехника и промышленная
электроника»
105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул.,
5, стр. 1
Тел. (905) 508-92-14
E-mail: luyminarskaja.caterina@yandex.ru

I.E. LUMINARSKY, S.E. LUMINARSKY, E.S. LUMINARSKAYA

ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF A FLEXIBLE WAVE GEAR WHEEL

Abstract. *The object of the study is a wave gear transmission with a cam wave generator. One of the requirements for wave gears is to increase their load capacity. The load capacity is largely determined by the fatigue strength of the flexible wheel and the durability of the flexible bearing. The article considers the method of determining stresses on the transition surface of the teeth of a flexible wheel. The method takes into account elastic deformations of the flexible wheel and rigid wheels, the outer ring of the flexible bearing, the cam shaft, the shaft of the flexible wheel, as well as contact deformations of the teeth, balls of the flexible bearing, raceways of the outer and inner rings of the flexible bearing. The stress calculation is performed using linear shell theory and the finite element method. According to the proposed method, the stress changes in the axial and circumferential directions are investigated.*

Keywords: *wave transmission, flexible wheel, rigid wheel, wave generator, main voltages, matrix of nodal compliance.*

BIBLIOGRAPHY

1. Ginzburg, E.G. Wave gears / E.G. Ginzburg. – M.: Mashinostroenie, 1969. – 160 p.
2. Volkov, D.P. Wave gears / D.P. Volkov, A.F. Krainev. – Kiev. Technic. 1976. – 224s.
3. Ivanov, M.N. Wave gears / M.N.Ivanov. – Study guide for university students. Moscow. Higher School, 1981. – 184 p.
4. Shuvalov, S.A. Investigation of stresses in a flexible toothed crown by the finite element method / S.A. Shuvalov, V.N. Gorelov // Bulletin of Mechanical Engineering. -1983. – No.1. – pp.9-11.
5. Timofeev, G.A. Comparative analysis of circuit solutions of drives with wave gears for tracking systems / G.A. Timofeev, M.V. Samoilova // Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Mechanical Engineering. – 2015. – No. 4. – pp. 109-118.
6. Timofeev, G.A. Structural schemes and computer-aided design of drives with wave gears / G.A. Timofeev, D.S. Gorbunov et al. // Drives and components of machines. – 2020. – No. 3-4. - pp. 2-6.
7. Flavius, A. Ardelean. 3D modeling of the harmonic drive using "CATIA" / A. Ardelean Flavius // Annals of the Oradea University. Fascicle of Management and Technological Engineering. – 2007. – Vol. VI(XVI). – P. 882–885.
8. Dhaouadi, R. Modelling and Analysis of Nonlinear Stiffness, Hysteresis and Friction in Harmonic Drive Gear / R. Dhaouadi, F.H. Ghorbel // International Journal of Modelling and Simulation. – 2008. – vol. 28. – is. 3. – P. 329–336.
9. Strelnikov, V.N. Elimination of interference of teeth in a large wave transmission / V.N. Strelnikov, G.S. Sukov, M.G. Sukov // Bulletin of the National Technical University "KhPI". – 2013. – No.41. – pp.133–146.
10. Poletuchy, A.I. Optimization of the parameters of the wave gear according to the limiting torque / A.I. Poletuchy, Ya.A. Stetsenko // Open information and computer integrated technologies. - 2007. – No.37. – pp.73-79.
11. Luminarsky, S.E. Mathematical model of a wave gear transmission with a disk wave generator / S.E. Luminarsky, I.E. Luminarsky // Mechanical engineering and engineering education. - 2012. – No.2. – pp.45–52.
12. Luminarsky, I.E. Calculation of interaction forces of wave gear transmission elements / I.E. Luminarsky, S.E. Luminarsky // Bulletin of Bauman Moscow State Technical University. Ser. Mashinostroenie. – 2011. – Special issue. "Energy and transport engineering". – pp. 230-240.

Luminarsky Igor Evgenievich
Bauman Moscow State
Technical University (National
Research University)
Doctor of Technical Sciences,
Professor
Theory of mechanisms and
machines
105005, Moscow, 2nd
Baumanskaya str., 5, p. 1
Tel. (905) 508-92-14
E-mail: lie260@mail.ru

Luminarsky Stanislav Evgenievich
Bauman Moscow State Technical
University (National Research
University)
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor
Theory of mechanisms and machines
105005, Moscow, 2nd Baumanskaya
str., 5, p. 1
Тел. (905) 508-92-14
E-mail: katjstas@mail.ru

Luminarskaya Ekaterina Stanislavovna
Bauman Moscow State Technical
University (National Research University)
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor
Electrical engineering and industrial
electronics
105005, Moscow, 2nd Baumanskaya str.,
5, p. 1
Tel. (905) 508-92-14
E-mail: luyminarskaja.caterina@yandex.ru

Д.В. МОИСЕЕВ, А.А. БРЮХОВЕЦКИЙ

МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ЗАЩИТЫ ДЛЯ СМЯГЧЕНИЯ ОТКАЗОВ УЗЛОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ВЕКТОРА СПАДА В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ АТАК В СЕТЯХ 5G

Аннотация. Решается задача распределения защитных ресурсов для смягчения отказов узлов в условиях действия атак в интеллектуальных транспортных сетях 5G. Получили дальнейшее развитие методы обнаружения уязвимостей интерфейсов беспилотных транспортных средств, позволяющие оценить влияние типа атак, интенсивности атак и выделяемого объема защитных ресурсов на вероятность отказа устройств. Реализована программная система распределения защитных ресурсов на основе модифицированного метода вектора спада. Представлены результаты исследования моделей, подтверждающие целесообразность применения предложенного подхода для смягчения отказов узлов в условиях действия атак.

Ключевые слова: распределение ресурсов, вероятность отказа устройства, вектор спада, принятие решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dongfeng Fang, Yi Qian, and Rose Qingyang Hu. Security for 5G Mobile Wireless Networks // 2169-3536 (c) 2017 IEEE, DOI 10.1109/ACCESS.2017.2779146, IEEE Access.
2. Скاتков А.В., Брюховецкий А.А. Коллаборационные стратегии обнаружения уязвимостей интерфейсов информационно-измерительных сетей ПТС при технологиях 5G// Системы контроля окружающей среды, №49 (3), 2022. – с.84 – 97. DOI: 10.33075/2220-5861-3-84-97.
3. Cheikhrouhou O. Secure group communication in wireless sensor networks: A survey [J]. J Netw Comput Appl 2016,61:115–32. doi: 10.1016/j.jnca.2015.10.011.
4. Sharma M., Kalra S., Monga C. A survey on security issues and attacks in wireless sensor network [J]. Int J Eng Sci Res Technol 2016,5(3):563–7. doi: 10.5281/zenodo.48314.
5. Kumar G., Saha R., Singh M., Rai M.K. Optimized packet filtering honeypot with snooping agents in intrusion detection system for WLAN [J]. // Int J Inf Secur Priv 2018,12(1),pp.53–62. doi: 10.4018/IJISP.2018010105.
6. Chen H., Han Z., Fu Z. Quantitative trustworthy evaluation scheme for trust routing scheme in wireless sensor networks [C]. // 2015 IEEE Trustcom/BigDataSE/ISPA. – pp. 1272–1278. doi: 10.1109/Trustcom.2015.517.
7. Labraoui N., Gueroui M., Sekhri L. A risk-aware reputation-based trust management in wireless sensor networks [J]. //Wireless Personal Commun 2016,87(3),pp.1037–1055. doi: 10.1007/s11277-015- 2636- 3.
8. Arghavani A., Arghavani M., Ahmadi M., Crane P. Attacker-manager game tree (AMGT): a new framework for visualizing and analysing the interactions between attacker and network security manager [J]. //Comput Netw 2018,133,pp.42–58. doi: 10.1016/j.comnet.2018.01.013.
9. Duan J., Gao D., Yang D., Foh C.H., Chen H.H. An energy-aware trust derivation scheme with game theoretic approach in wireless sensor networks for IoT applications [J]. IEEE Internet Things J 2017;1(1):58–69. doi: 10.1109/JIOT.2014. 2314132.
10. Samuel A., Guikema S.D. Resource allocation for homeland defense: dealing with the team effect [J]. Decis Anal 2016;9(3):238–52. doi: 10.1287/deca.1120. 0242.
11. Mo H., Sansavini G. Dynamic defense resource allocation for minimizing unsupplied demand in cyber-physical systems against uncertain attacks [J]. //IEEE Trans Reliab 2017(99):1–13. doi: 10.1109/TR.2017.2759328.
12. Shang H., Zhang X., Ye Z., et al. Operation loop-based network design model for defense resource allocation with uncertainty[J]. //IEEE Syst J 2018;13(1):477–88. doi: 10.1109/JSYST.2018.2827206.
13. Misuri A, Khakzad N, Reniers G, et al. A Bayesian network methodology for optimal security management of critical infrastructures [J].// Reliab Eng Syst Saf 2019;191:106112. doi: 10.1016/j.ress.2018.03.028.
14. Jakaria A.H.M., Rashidi B, Rahman M.A, et al. Dynamic DDoS defense resource allocation using network function virtualization [C]. In: Proceedings of the ACM international workshop on security in software defined networks & network function virtualization. ACM; 2017. p. 37–42. doi: 10.1145/3040992.30410 0 0.
15. Hong C, Cao XB, Du WB, et al. The effect of attack cost on network robustness [J]. //Phys Scr 2013;87(5):055801. doi: 10.1088/0031-8949/87/05/055801.
16. Сергиенко И.В., Лебедева Т.Т., Рощин В.А. Приближенные методы решения дискретных задач оптимизации. – Киев: Наук. думк., 1980. – 276 с.

17. Moiseev, D. V. Intelligent decision - making support on the level of encryption of information transmitted in the UUV information exchange channels D V Moiseev, A A Bryukhovetskiy and A V Skatkov / D. V. Moiseev, A. A. Bryukhovetskiy, A. V. Skatkov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Krasnoyarsk, 18–21 ноября 2019 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 734. – Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 12086. – DOI 10.1088/1757-899X/734/1/012086.

18. Sapozhnikov, N. Advantages of using the probabilistic form of information representation in information-control systems / N. Sapozhnikov, A. Polyakov, D. Moiseev // 2019 International Science and Technology Conference "EastConf", EastConf 2019, Vladivostok, 01–02 марта 2019 года. – Vladivostok, 2019. – P. 8725406. – DOI 10.1109/Eastconf.2019.8725406.

19. Modeling of monitoring processes of structurally heterogeneous technological objects / A. Skatkov, V. Shevchenko, D. Voronin, D. Moiseev // MATEC Web of Conferences, Sevastopol, 11–15 сентября 2017 года. Vol. 129. – Sevastopol: EDP Sciences, 2017. – P. 03022. – DOI 10.1051/mateconf/201712903022.

Моисеев Дмитрий Владимирович

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
 Доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Информационные технологии и компьютерные системы»
 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
 Тел. +7862417741 (добавочный 1384),
 DVMoiseev@sevsu.ru

Брюховецкий Алексей Алексеевич

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
 Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Информационные технологии и компьютерные системы»
 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
 Тел. +7862417741 (добавочный 1384),
 AABryukhovetskiy@sevsu.ru

D.V. MOISEEV, A.A. BRYUKHOVETSKIY

PROTECTION RESOURCE ALLOCATION MODELS TO MITIGATE NODE FAILURES BASED ON THE METHOD OF THE DECLINE VECTOR IN THE CONDITIONS OF ATTACKS IN 5G NETWORKS

Abstract. *The problem of distributing protective resources to mitigate node failures in the conditions of attacks in intelligent 5G transport networks is being solved. Methods for detecting vulnerabilities in the interfaces of unmanned vehicles have been further developed, which allow us to assess the impact of the type of attacks, the intensity of attacks and the amount of protective resources allocated on the probability of device failure. A software system for the distribution of protective resources based on a modified method of the decline vector is implemented. The results of a study of models confirming the feasibility of using the proposed approach to mitigate node failures under attack conditions are presented.*

Keywords: *resource allocation, probability of device failure, decline vector, decision-making.*

BIBLIOGRAPHY

1. Dongfeng Fang, Yi Qian, and Rose Qingyang Hu. Security for 5G Mobile Wireless Networks // 2169-3536 (c) 2017 IEEE, DOI 10.1109/ACCESS.2017.2779146, IEEE Access.
2. Skatkov A.V., Bryukhovetskiy A.A. Kollaboracionnye strategii obnaruzheniya uyazvimostej interfejsov informacionno-izmeritelnyh setej PTS pri tekhnologiyah 5G// Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy, №49 (3), 2022. – s.84 – 97. DOI: 10.33075/2220-5861-3-84-97.
3. Cheikhrouhou O. Secure group communication in wireless sensor networks: A survey [J]. J Netw Comput Appl 2016,61:115–32. doi: 10.1016/j.jnca.2015.10.011.
4. Sharma M., Kalra S., Monga C. A survey on security issues and attacks in wireless sensor network [J]. Int J Eng Sci Res Technol 2016,5(3):563–7. doi: 10.5281/zenodo.48314.
5. Kumar G., Saha R., Singh M., Rai M.K. Optimized packet filtering honeypot with snooping agents in intrusion detection system for WLAN [J]. // Int J Inf Secur Priv 2018,12(1),pp.53–62. doi: 10.4018/IJISP.2018010105.
6. Chen H., Han Z., Fu Z. Quantitative trustworthy evaluation scheme for trust routing scheme in wireless sensor networks [C]. // 2015 IEEE Trustcom/BigDataSE/ISPA. – pp. 1272–1278. doi: 10.1109/Trustcom.2015.517.
7. Labraoui N., Gueroui M., Sekhri L. A risk-aware reputation-based trust management in wireless sensor networks [J]. //Wireless Personal Commun 2016,87(3),pp.1037–1055. doi: 10.1007/s11277-015-2636-3.
8. Arghavani A., Arghavani M., Ahmadi M., Crane P. Attacker-manager game tree (AMGT): a new framework for visualizing and analysing the interactions between attacker and network security manager [J]. //Comput Netw 2018,133,pp.42–58. doi: 10.1016/j.comnet.2018.01.013.
9. Duan J., Gao D., Yang D., Foh C.H., Chen H.H. An energy-aware trust derivation scheme with game theoretic approach in wireless sensor networks for IoT applications [J]. IEEE Internet Things J 2017;1(1):58–69. doi: 10.1109/IJOT.2014.2314132.

10. Samuel A., Guikema S.D. Resource allocation for homeland defense: dealing with the team effect [J]. *Decis Anal* 2016;9(3):238–52. doi: 10.1287/deca.1120. 0242.
11. Mo H., Sansavini G. Dynamic defense resource allocation for minimizing unsupplied demand in cyber-physical systems against uncertain attacks [J]. // *IEEE Trans Reliab* 2017(99):1–13. doi: 10.1109/TR.2017.2759328.
12. Shang H., Zhang X., Ye Z., et al. Operation loop-based network design model for defense resource allocation with uncertainty[J]. // *IEEE Syst J* 2018;13(1):477–88. doi: 10.1109/JSYST.2018.2827206.
13. Misuri A, Khakzad N, Reniers G, et al. A Bayesian network methodology for optimal security management of critical infrastructures [J].// *Reliab Eng Syst Saf* 2019;191:106112. doi: 10.1016/j.res.2018.03.028.
14. Jakaria A.H.M., Rashidi B, Rahman M.A, et al. Dynamic DDoS defense resource allocation using network function virtualization [C]. In: *Proceedings of the ACM international workshop on security in software defined networks & network function virtualization*. ACM; 2017. p. 37–42. doi: 10.1145/3040992.3041000.
15. Hong C, Cao XB, Du WB, et al. The effect of attack cost on network robustness [J]. // *Phys Scr* 2013;87(5):055801. doi: 10.1088/0031-8949/87/05/055801.
16. Sergienko I.V., Lebedeva T.T., Roshchin V.A. *Priblizhennye metody resheniya diskretnyh zadach optimizacii*. – Kiev: Nauk. dumk., 1980. – 276 s.
17. Moiseev, D. V. Intelligent decision - making support on the level of encryption of information transmitted in the UMV information exchange channels D V Moiseev, A A Bryukhovetskiy and A V Skatkov / D. V. Moiseev, A. A. Bryukhovetskiy, A. V. Skatkov // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Krasnoyarsk, 18–21 noyabrya 2019 goda / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 734. – Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 12086. – DOI 10.1088/1757-899X/734/1/012086.
18. Sapozhnikov, N. Advantages of using the probabilistic form of information representation in information-control systems / N. Sapozhnikov, A. Polyakov, D. Moiseev // *2019 International Science and Technology Conference "EastConf"*, EastConf 2019, Vladivostok, 01–02 marta 2019 goda. – Vladivostok, 2019. – P. 8725406. – DOI 10.1109/Eastonf.2019.8725406.
19. Modeling of monitoring processes of structurally heterogeneous technological objects / A. Skatkov, V. Shevchenko, D. Voronin, D. Moiseev // *MATEC Web of Conferences*, Sevastopol, 11–15 sentyabrya 2017 goda. Vol. 129. – Sevastopol: EDP Sciences, 2017. – P. 03022. – DOI 10.1051/mateconf/201712903022.

Moiseev Dmitry Vladimirovich

FGAOU VO "Sevastopol State University", Sevastopol
 Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
 Head of the Department of Information Technology and
 Computer Systems
 299053, Sevastopol, st. University, 33
 Tel. +7862417741 (ext. 1384),
 DVMoiseev@sevsu.ru

Bryukhovetsky Alexey Alekseevich

FGAOU VO "Sevastopol State University", Sevastopol
 Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
 Associate Professor of the Department of Information
 Technology and Computer Systems
 299053, Sevastopol, st. University, 33
 Tel. +7862417741 (ext. 1384),
 AABryukhovetskiy@sevsu.ru

© Д.В. Моисеев, А.А. Брюховецкий, 2023

УДК 004.94

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-360-4-56-65

Д.В. МОИСЕЕВ, Ю.В. ДОРОНИНА

АТИПИЧНАЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ РЕШЕНИЙ ПРИ СТОХАСТИЧЕСКИХ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ИСКУССТВЕННЫХ ИММУННЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Развитие сложных систем с распределенным или удаленным управлением осуществляется в том числе в направлении совершенствования каналов информационного обмена. В этой связи актуален выбор управляющих решений неопределенности решений при стохастических начальных условиях дифференциальных моделей искусственных иммунных систем. Предложено рассматривать атипичную (эллипсную) неопределенность решений, приводятся результаты моделирования на примере обеспечения качественного информационного обмена между беспилотными транспортными средствами и диспетчерским центром. Предложен каркас двухконтурной системы поддержки принятия решений по управлению защитой каналов информационного обмена.

Ключевые слова: искусственные иммунные системы, беспилотное транспортное средство, диспетчерский центр, канал информационного обмена, стохастичность начальных условий, атипичная неопределенность решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Denning D., An Intrusion-Detection Model, IEEE Transactions on Software Engineering, Vol. SE-13, No. 2, pp.222-232, 1987. 6. KDD Cup 1999
2. H. Yang, T. Li, X. Hu, F. Wang, Y. Zou. A Survey of Artificial Immune System Based Intrusion Detection. The Scientific World Journal. 2014.
3. Dasgupta D. Iskusstvennyye immunnnye sistemy i ikh primeneniye [Artificial Immune Systems and Their Applications]. Moscow, FIZMATLIT Publ., 2006, 344 p.
4. Брюховецкий А.А., Скатков А.В. Адаптивная модель обнаружения вторжений в компьютерных сетях на основе искусственных иммунных систем / Электротехнические и компьютерные системы. 2013. № 12 (88). С. 102-111.
5. D. V. Moiseev, A. A. Bryukhovetskiy, A. V. Skatkov / Intelligent decision - making support on the level of encryption of information transmitted in the UMV information exchange channels D. V. Moiseev et al 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 734 012086 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/734/1/012086>
6. A. V. Skatkov, A. A. Bryukhovetskiy, D. V. Moiseev / Adaptive vulnerability detection model for unmanned vehicles drugs based on artificial immune systems et al 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 734 012028 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/734/1/012028>
7. Бардачев Ю.Н., Дидык А.А. Использование положений теории опасности в искусственных иммунных системах // Автоматика, автоматизация, электротехнические комплексы и системы. 2007. № 2. С. 107-111.
8. Станкевич Л.А., Казанский А.Б. Иммунологическая система обеспечения безопасности гуманоидного робота // Актуальные проблемы защиты и безопасности: тр. 9-й Всерос. науч.-практич. конф. 2006. № 5. С. 145-152.
9. Hunt J.E., Cooke D.E. Learning using an artificial immune system. Journ. of Network Computing Applications, 1996, vol. 19, pp. 189-212.
10. Математические модели в иммунологии. Вычислительные методы и эксперименты / ред. Г.И. Марчук. М.: Наука, 1991. 299 с.
11. Knight T., Timmis J. Aine: An immunological approach to data mining. IEEE Intern. Conf. on Data Mining, 2001, pp. 297304.
12. Kim J., Bentley P. Towards an artificial immune system for network intrusion detection: An investigation of dynamic clonal selection. In Proc. Congress on Evolutionary Computation, Honolulu, HI, USA, 2002, pp. 1244-1252.
13. Castro L.N. Artificial immune systems: The past, the present and the future? Proc. 5th Intern. Conf. ICARIS-06. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006, p. 460.
14. Owens N., Timmis J., Greensted A., Tyrrell A. Modeling the tunability of early t cell signalling events. Artificial Immune Systems, P.J. Bentley, D. Lee, S. Jung Eds., Springer, Berlin, Heidelberg, 2008, vol. 5132, pp. 12-23.
15. Kushnir, N.V. Iskusstvennyye immunnnye sistemy: obzor i sovremennoe sostojanie / N.V. Kushnir, A.V. Kushnir, E.V. Anackaja, P.A. Katysheva, K.G. Ustinov // Nauchnye trudy Kubanskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. - № 12, 2015. – S. 382-391.
16. Skatkov A., Bryukhovetskiy A., Moiseev D., Litvinova R. Detecting changes simulation of the technological objects information states / MATEC Web Conf. Volume 224, 2018, Number 02072, International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018) <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822402072>
17. Мак-Каллок У. С., Питтс В. Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности // Автоматы / под ред. К. Э. Шеннона и Дж. Маккарти. – М.: Изд-во иностр. лит., 1956. – С. 363– 384. (Перевод английской статьи 1943 г.)
18. Искусственные иммунные системы и их применение / Под ред. Д. Дасгупты: пер. с англ. - М.: Физматлит, 2006. - 344 с.
19. H. S. Javitz and A. Valdes. The SRI IDES Statistical Anomaly Detector. In Proceedings of the IEEE Symposium on Security and Privacy, May 1991.
20. P. Helman and J. Bhangoo. A statistically based system for prioritizing information exploration under uncertainty. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, 27(4):449–466, July 1997.
21. Yeung D.Y., and Ding Y. Host-Based Intrusion Detection Using Dynamic and Static Behavioral Models, (2003), Journal of Pattern Recognition, No. 36, pp. 229 - 243.
22. C. C. Michael And Anup Ghosh, Simple, State-Based Approaches to Program-Based Anomaly Detection, ACM Transactions on Information and System Security, Vol. 5, No. 3, August 2002.
23. Черноуцкий И. Г. Методы оптимизации. Компьютерные технологии. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 384 с.
24. Modeling of monitoring processes of structurally heterogeneous technological objects / A. Skatkov, V. Shevchenko, D. Voronin, D. Moiseev // MATEC Web of Conferences (Sevastopol, 11–15 September, 2017). – 2017. – Vol. 129. – P. 03022.

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Информационные технологии и компьютерные системы»
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. +7862417741 (добавочный 1384),
DVMoiseev@sevsu.ru

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Информационные технологии и компьютерные системы»
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. +7862417741 (добавочный 1384),
YVDoronina@mail.sevsu.ru

D.V. MOISEEV, YU.V. DORONINA

ATYPICAL UNCERTAINTY OF SOLUTIONS UNDER STOCHASTIC INITIAL CONDITIONS OF DIFFERENTIAL MODELS OF ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEMS

Abstract. *The development of complex systems with distributed or remote control is carried out, among other things, in the direction of improving information exchange channels. In this regard, the choice of control solutions for the uncertainty of solutions under stochastic initial conditions of differential models of artificial immune systems is relevant. It is proposed to consider atypical (elliptical) uncertainty of solutions, the results of modeling are given on the example of ensuring high-quality information exchange between unmanned vehicles and the dispatch center. The framework of a two-circuit decision support system for managing the protection of information exchange channels is proposed.*

Keywords: *artificial immune systems, unmanned vehicle, dispatch center, information exchange channel, stochasticity of initial conditions, atypical uncertainty of solutions.*

BIBLIOGRAPHY

1. Denning D., An Intrusion-Detection Model, IEEE Transactions on Software Engineering, Vol. SE-13, No. 2, pp.222-232, 1987. 6. KDD Cup 1999
2. H. Yang, T. Li, X. Hu, F. Wang, Y. Zou. A Survey of Artificial Immune System Based Intrusion Detection. The Scientific World Journal. 2014.
3. Dasgupta D. Искусственные иммунные системы и их применение [Artificial Immune Systems and Their Applications]. Moscow, FIZMATLIT Publ., 2006, 344 p.
4. Bryuhoveckij A.A., Skatkov A.V. Адаптивная модель обнаружения вторжений в компьютерных сетях на основе искусственных иммунных систем / Электротехнические и компьютерные системы. 2013. № 12 (88). С. 102-111.
5. D. V. Moiseev, A. A. Bryukhovetskiy, A. V. Skatkov / Intelligent decision - making support on the level of encryption of information transmitted in the UMV information exchange channels D. V. Moiseev et al 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 734 012086 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/734/1/012086>
6. A. V. Skatkov, A. A. Bryukhovetskiy, D. V. Moiseev / Adaptive vulnerability detection model for unmanned vehicles drugs based on artificial immune systems et al 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 734 012028 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/734/1/012028>
7. Bardachev YU.N., Didyk A.A. Исползование положений теории опасности в искусственных иммунных системах // Автоматика, автоматизация, электротехнические комплексы и системы. 2007. № 2. С. 107-111.
8. Stankevich L.A., Kazanskij A.B. Иммунологическая система обеспечения безопасности гуманоидного робота // Актуальные проблемы защиты и безопасности: тр. 9-й Всерос. науч.-практич. конф. 2006. № 5. С. 145-152.
9. Hunt J.E., Cooke D.E. Learning using an artificial immune system. Journ. of Network Computing Applications, 1996, vol. 19, pp. 189-212.
10. Математические модели в иммунологии. Вычислительные методы и эксперименты / ред. G.I. Marchuk. М.: Наука, 1991. 299 с.
11. Knight T., Timmis J. Aine: An immunological approach to data mining. IEEE Intern. Conf. on Data Mining, 2001, pp. 297-304.
12. Kim J., Bentley P. Towards an artificial immune system for network intrusion detection: An investigation of dynamic clonal selection. In Proc. Congress on Evolutionary Computation, Honolulu, HI, USA, 2002, pp. 1244-1252.
13. Castro L.N. Artificial immune systems: The past, the present and the future? Proc. 5th Intern. Conf. ICARIS-06. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006, p. 460.
14. Owens N., Timmis J., Greensted A., Tyrrell A. Modeling the tunability of early t cell signalling events. Artificial Immune Systems, P.J. Bentley, D. Lee, S. Jung Eds., Springer, Berlin, Heidelberg, 2008, vol. 5132, pp. 12-23.
15. Kushnir, N.V. Искусственные иммунные системы: обзор и современное состояние / N.V. Kushnir, A.V. Kushnir, E.V. Anackaja, P.A. Katysheva, K.G. Ustinov // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. - № 12, 2015. – С. 382-391.

16. Skatkov A., Bryukhovetskiy A., Moiseev D., Litvinova R. De-tecting changes simulation of the technological objects information states / MATEC Web Conf. Volume 224, 2018, Number 02072, International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018) <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822402072>
17. Mak-Kallok U. S., Pitts V. Logicheskoe ischislenie idej, ot-nosyashchihsya k nervnoj aktivnosti // Avtomaty / pod red. K. E. SHennona i Dzh. Makkarti. – M.: Izd-vo inostr. lit., 1956. – S. 363– 384. (Perevod anglijskoj stati 1943 g.)
18. Iskusstvennye immunnnye sistemy i ih primenenie / Pod red. D. Dasgupty: per. s angl. - M.: Fizmatlit, 2006. - 344 s.
19. H. S. Javitz and A. Valdes. The SRI IDES Statistical Anomaly Detector. In Proceedings of the IEEE Symposium on Security and Privacy, May 1991.
20. P. Helman and J. Bhango. A statistically based system for pri-oritizing information exploration under uncertainty. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, 27(4):449–466, July 1997.
21. Yeung D.Y., and Ding Y. Host-Based Intrusion Detection Using Dynamic and Static Behavioral Models, (2003), Journal of Pattern Recogni-tion, No. 36, pp. 229 - 243.
22. C. C. Michael And Anup Ghosh, Simple, State-Based Ap-proaches to Program-Based Anomaly Detection, ACM Transactions on In-formation and System Security, Vol. 5, No. 3, August 2002.
23. SHernoruckij I. G. Metody optimizacii. Kompyuternye tekhnologii. SPb.: BHV-Peterburg, 2011. — 384 s.
24. Modeling of monitoring processes of structurally heterogeneous technological objects / A. Skatkov, V. Shevchenko, D. Voronin, D. Moiseev // MATEC Web of Conferences (Sevastopol, 11–15 September, 2017). – 2017. – Vol. 129. – P. 03022.

Moiseev Dmitry Vladimirovich

FGAOU VO "Sevastopol State University", Sevastopol
 Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head
 of the Department of Information Technology and
 Computer Systems
 299053, Sevastopol, st. University, 33
 Tel. +7862417741 (ext. 1384),
 DVMoiseev@sevsu.ru

Doronina Yulia Valentinovna

FGAOU VO "Sevastopol State University", Sevastopol
 Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
 Professor of the Department of Information Technology
 and Computer Systems
 299053, Sevastopol, st. University, 33
 Tel. +7862417741 (ext. 1384),
 Yu.V.Doronina@mail.sevsu.ru

© Д.В. Моисеев, Ю.В. Доронина, 2023

УДК 621.22

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-360-4-66-72

В.П. ПОЛИВЦЕВ, М.И. ГАРМАТЮК, В.В. ПОЛИВЦЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЖИДКОСТНОГО ДЫХАНИЯ АППАРАТА С ЗАМКНУТЫМ ДЫХАТЕЛЬНЫМ КОНТУРОМ

Аннотация. Предлагаются исследования технологии жидкостного дыхания для процесса подачи и удаления дыхательной жидкости из легких. Разработан и испытан медицинский жидкостный аппарат искусственной вентиляции легких. Исследованы динамические процессы и режимы циклов вдох/выдох для различных параметров дыхательного объема, частоты дыхания и соотношения времени вдох/выдох. Экспериментальный аппарат жидкостного дыхания обеспечивает замкнутый цикл работы замкнутого дыхательного контура. Для различных дыхательных объемов приведены характеристики давления и расхода циклов вдоха и выдоха. Циклы вдоха и выдоха при переключении клапанов и насосов обеспечивают работу без скачков давления и равенстве дыхательного объема. Приведены результаты исследований технических характеристик цикла вдох/выдох в виде характеристик давления и расхода от времени. Характеристики расхода подтверждаю равенство дыхательных объемов цикла вдоха и выдоха.

Ключевые слова: азот, кислород, воздух, жидкостное дыхание, дыхательная жидкость, оксигенатор, аппарат жидкостного дыхания.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мороз, В.В. Жидкостная вентиляция легких, ее возможности и перспективы (современное состояние вопроса) / В.В. Мороз, А.В. Власенко, И.О. Закс // Анестезиология и реаниматология. – 2001. – №6. – С. 66–73.
2. Мороз, В.В. Эндотрахеальное применение перфторана в условиях ИВЛ у больных с острым респираторным дистресс-синдромом / В.В. Мороз, Д.А. Остапченко, А.В. Власенко, П.Ю. Осипов, Л.В. Герасимов // Общая реаниматология. – 2005. – С. 5–11.
3. Попцов, В.Н. Первый клинический опыт использования частичной жидкостной вентиляции на основе эндобронхиального введения перфторана в комплексной терапии респираторного дистресс-синдрома / В.Н. Попцов, А.Е. Баландюк // Биомедицинский журнал Medline.ru. – 2004. – Т.5. – С. 173–174.
4. Sarkar, S. Liquid ventilation / S. Sarkar, A. Paswan, S. Prakas // Anesth Essays Res. – 2014. – Vol.8, №3. – P. 277–282.
5. Корепанов А.Л. Жидкостное дыхание. Частичная жидкостная вентиляция легких. // Вестник физиотерапии и курортологии. – 2018. – Т.24, № 2. – С. 62–70.
6. Корепанов А.Л., Шуневыч О.Б., Василенко И.Ю. Жидкостное дыхание. Тотальная жидкостная вентиляция легких. // Вестник физиотерапии и курортологии. – 2018. – Т. 24, № 4. – С. 86–94.
7. П. Мишо, Р. Тиссье, М. Надо, М. Кольхауэр, Дж. Вандамм, Дж. Муссо, Жидкостная вентиляция легких и метод индукции приливной жидкостной вентиляции и / или гипертермии, Канада, L80011814WO, 12 апреля 2019 г.
8. Патент на полезную модель Российской Федерации, RU 203 4446 U1 МПК А61Н 31/02, А61М 16/00. Модуль жидкостного дыхания в условиях гипербарии для модельного биообъекта / Пашков Е.В., Поливцев В.П., Манчук Д.И., Поливцев В.В.; заявитель и патентообладатель Фонд перспективных исследований. №2020130505; заявл. 16.09.2020; опубл. 06.04.2021 Бюл. № 10.
9. Патент на полезную модель RU 202 283 U1 МПК А61М 16/00, А61G 10/02. Установка для жидкостного дыхания / Пашков Е.В., Поливцев В.П., Калинин М.И., Поливцев В.В.; заявитель и патентообладатель Фонд перспективных исследований. №2020130508; заявл. 16.09.2020; опубл. 10.02.2021 Бюл. № 4.
10. Патент на полезную модель RU 201 202 U1 МПК F16J 13/00. Быстродействующий мембранно-плунжерный затвор для камер гипербарических установок жидкостного дыхания / Пашков Е.В., Поливцев В.П., Коваленко А.В., Балакин А.И.; заявитель и патентообладатель Фонд перспективных исследований. №2020127187; заявл. 13.08.2020; опубл. 02.13.2020 Бюл. №34.
11. Патент на полезную модель №215480. Аппарат жидкостного дыхания с замкнутым дыхательным контуром/ Поливцев В.П., Поливцев В.В., Пашков Е.В. заявл. 27.06.2022; опубл. 14.12.2022.
12. Фомичев В.А. Обеспечение проходимости дыхательных путей. Основы ИВЛ. Учебное пособие. Новосибирский государственный медицинский университет; Новосибирск -2015, 26с.

Поливцев Виктор Петрович
 ФГАОУ ВО Севастопольский
 государственный университет, г.
 Севастополь
 Кандидат технических наук,
 заведующий НИЛ «ЭСЖБО»
 299053, г. Севастополь, ул.
 Университетская, 33
 Тел. +7(978) 861–50–57
 E–mail: polivcev.viktor@yandex.ru

Поливцев Владимир Викторович
 ФГАОУ ВО Севастопольский
 государственный университет, г.
 Севастополь
 Руководитель группы НИЛ
 «ЭСЖБО»
 299053, г. Севастополь, ул.
 Университетская, 33
 Тел. +7(978) 745–20–25
 E–mail: vovapolivcev@yandex.ru

Гарматюк Михаил Игоревич
 ФГАОУ ВО Севастопольский
 государственный университет,
 г. Севастополь
 Инженер 1 категории НИЛ
 «ЭСЖБО»
 299053, г. Севастополь, ул.
 Университетская, 33
 Тел. +7(978) 820–66–03
 E–mail: m-krym@yandex.ru

V.P. POLIVTSEV, M.I. GARMATYUK, V.V. POLIVTSEV

STUDY OF LIQUID BREATHING PARAMETERS DEVICE WITH CLOSED BREATHING CIRCUIT

Abstract. *Research of liquid breathing technology for the process of supplying and removing respiratory fluid from the lungs is proposed. A medical liquid ventilator was developed and tested. The dynamic processes and modes of inhalation/exhalation cycles for various parameters of tidal volume, respiratory rate and inhalation/exhalation time ratio have been studied. The experimental apparatus for liquid breathing provides a closed cycle of operation of a closed breathing circuit. For various tidal volumes, pressure and flow characteristics of inspiratory and expiratory cycles are given. Inspiratory and expiratory cycles when switching valves and pumps ensure operation without pressure surges and equal tidal volume. The results of studies of the technical characteristics of the inhalation/exhalation cycle in the form of characteristics of pressure and flow over time are presented. The flow characteristics confirm the equality of the tidal volumes of the inspiratory and expiratory cycles.*

Keywords: *nitrogen, oxygen, air, liquid breathing, respiratory liquid, oxygenator, liquid breathing apparatus.*

BIBLIOGRAPHY

1. Moroz, V.V. Zhidkostnaya ventilyatsiya legkikh, yeye vozmozhnosti i perspektivy (sovremennoye sostoyaniye voprosa) / V.V. Moroz, A.V. Vlasenko, I.O. Zaks // Anesteziologiya i reanimatologiya. – 2001. – №6. – С. 66–73.

2. Moroz, V.V. Endotrakhealnoye primeneniye perforana v usloviyakh IVL u bolnykh s ostrym respiratornym distress-sindromom / V.V. Moroz, D.A. Ostapchenko, A.V. Vlasenko, P.YU. Osipov, L.V. Gerasimov // Obshchaya reanimatologiya. – 2005. – S. 5–11.
3. Poptsov, V.N. Pervyy klinicheskiy opyt ispolzovaniya chastichnoy zhidkostnoy ventilyatsii na osnove endobronkhialnogo vvedeniya perforana v kompleksnoy terapii respiratornogo distress-sindroma / V.N. Poptsov, A.Ye. Balandyuk // Biomeditsinskiy zhurnal Medline.ru. – 2004. – T.5. – S. 173–174.
4. Sarkar, S. Liquid ventilation / S. Sarkar, A. Paswan, S. Prakas // Anesth Essays Res. – 2014. – Vol.8, №3. – P. 277–282.
5. Korepanov A.L. Zhidkostnoye dykhaniye. Chastichnaya zhidkostnaya ventilyatsiya legkikh. // Vestnik fizioterapii i kurortologii. – 2018. – T.24, № 2. – S. 62–70.
6. Korepanov A.L., Shunevych O.B., Vasilenko I.YU. Zhidkostnoye dykhaniye. Totalnaya zhidkostnaya ventilyatsiya legkikh. // Vestnik fizioterapii i kurortologii. – 2018. – T. 24, № 4. – S. 86–94.
7. P. Misho, R. Tissye, M. Nado, M. Kolkhauer, Dzh. Vandamm, Dzh. Musso, Zhidkostnaya ventilyatsiya legkikh i metod induktsii prilivnoy zhidkostnoy ventilyatsii i / ili gipertermii, Kanada, L80011814WO, 12 aprelya 2019 g.
8. Patent na poleznuyu model Rossiyskoy Federatsii, RU 203 4446 U1 MPK A61N 31/02, A61M 16/00. Modul zhidkostnogo dykhaniya v usloviyakh giperbarii dlya modelnogo bioob"yekta / Pashkov Ye.V., Polivtsev V.P., Manchuk D.I., Polivtsev V.V.; zayavitel i patentoobladatel Fond perspektivnykh issledovaniy. №2020130505; zayavl. 16.09.2020; opubl. 06.04.2021 Byul. № 10.
9. Patent na poleznuyu model RU 202 283 U1 MPK A61M 16/00, A61G 10/02. Ustanovka dlya zhidkostnogo dykhaniya / Pashkov Ye.V., Polivtsev V.P., Kalinin M.I., Polivtsev V.V.; zayavitel i patentoobladatel Fond perspektivnykh issledovaniy. №2020130508; zayavl. 16.09.2020; opubl. 10.02.2021 Byul. № 4.
10. Patent na poleznuyu model RU 201 202 U1 MPK F16J 13/00. Bystrodevystvuyushchiy membranno-plunzhernyy zatvor dlya kamer giperbaricheskikh ustanovok zhidkostnogo dykhaniya / Pashkov Ye.V., Polivtsev V.P., Kovalenko A.V., Balakin A.I.; zayavitel i patentoobladatel Fond perspektivnykh issledovaniy. №2020127187; zayavl. 13.08.2020; opubl. 02.13.2020 Byul. №34.
11. Patent na poleznuyu model №215480. Apparat zhidkostnogo dykhaniya s zamknutym dykhatelnym konturom/ Polivtsev V.P., Polivtsev V.V., Pashkov Ye.V. zayavl. 27.06.2022; opubl. 14.12.2022.
12. Fomichev V.A. Obespecheniye prokhozimosti dykhatelnykh putey. Osnovy IVL. Uchebnoye posobiye. Novosibirskiy gosudarstvennyy meditsinskiy universitet; Novosibirsk -2015, 26s.

Polivtsev Viktor Petrovich
Sevastopol State University
Ph.D., Associate Professor, Head of
the Research Laboratory
"Experimental Life Support Systems
for Biological Objects"
Universitetskaya Str. 33, Sevastopol,
299053
Phone: +7(978) 861–50–57
E-mail: polivcev.viktor@yandex.ru

Polivtsev Vladimir Viktorovich
Sevastopol State University
Head of the Research Laboratory
"Experimental Life Support Systems for
Biological Objects"
Universitetskaya Str. 33, Sevastopol,
299053
Phone: +7(978) 745–20–25
E-mail: vovapolivcev@yandex.ru

Garmatyuk Mikhail Igorevich
Sevastopol State University
Engineer of the Research Laboratory
"Experimental Life Support Systems for
Biological Objects",
Universitetskaya Str. 33, Sevastopol,
299053
Phone: +7(978) 820–66–03
E-mail: m-krym@yandex.ru

© В.П. Поливцев, М.И. Гарматюк, В.В. Поливцев, 2023
DOI: 10.33979/2073-7408-2023-360-4-73-80

УДК 621.867.61

И.А. ШАРИФУЛЛИН, А.Л. НОСКО, Е.В. САФРОНОВ

МЕТОД ВЫБОРА ТОРМОЗНЫХ РОЛИКОВ МАГНИТНОГО ТИПА ДЛЯ ПАЛЛЕТНЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ СТЕЛЛАЖЕЙ

Аннотация. Представлен метод расчета и выбора тормозных роликов магнитного типа дискового исполнения, позволяющий графическим способом проводить оценку безопасной и эффективной работы гравитационного роликового конвейера в рабочем диапазоне масс и скоростей паллет, определять рациональные параметры дисковых магнитных роликов. В основу предлагаемого метода положена разработанная математическая модель движения паллеты по дисковому магнитному ролику и полученные расчетные зависимости скорости движения паллеты по нему в зависимости от их конструктивных параметров, уклона гравитационного роликового конвейера, массы паллеты, коэффициента магнитной вязкости. Приведены примеры использования метода и разработаны практические рекомендации по применению тормозного ролика магнитного типа.

Ключевые слова: паллета, гравитационный роликовый конвейер, гравитационный стеллаж, магнитный (вихретоковый) тормозной ролик, расчет роликового конвейера, магнитный ролик, проводящее тело, постоянный магнит, вихретоковый тормоз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метод выбора табличным способом тормозных роликов магнитного типа для паллетных гравитационных стеллажей / И.А. Шарифуллин [и др.] // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2022. № 5 (355). С. 130-143.
2. Пат. 198420 Российская Федерация, МПК В65G 13/075. Ролик тормозной магнитный для роликовых гравитационных конвейеров / Носко А.Л., Сафронов Е.В., Потапов В.А., Шарифуллин И.А.; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество «Инженерно-технический центр «КРОС» - № 2020106638; заявл. 12.02.2020; опубл. 06.07.2020. Бюл. № 02-2020.
3. Шарифуллин И.А., Сафронов Е.В., Носко А.Л. Разработка конструкции и оценка работоспособности тормозного ролика магнитного типа гравитационных конвейеров для поддонов с грузом // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2019. №4. С. 47-51.
4. Сафронов Е.В., Шарифуллин И.А., Носко А.Л. Устройства безопасной эксплуатации гравитационных роликовых конвейеров паллетного типа: Монография. М: Университетская книга, 2018. 72 с.
5. Шарифуллин И.А. Метод расчета и выбора тормозных роликов магнитного типа для паллетных гравитационных стеллажей: дис.... канд. техн. наук: 05.05.04 / Шарифуллин Ильдар Азатович. М., 2022. 159 с.
6. Носко А.Л., Сафронов Е.В. Методика определения максимально допустимой скорости движения поддона на гравитационном роликовом конвейере / Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2017. № 8 (689). С. 33-41.
7. Шарифуллин И.А., Носко А.Л., Сафронов Е.В. Сравнительный анализ расчетных и экспериментальных исследований скорости движения паллеты по тормозному ролику магнитного типа // Вестник СибАДИ. 2021. Т. 18, № 2(78). С. 148-159.
8. Sharifullin I., Nosko A., Safronov E. Mathematical model of the pallet motion on a magnetic brake roller of a gravity flow rack // Acta Mechanica et Automatica. 2022. V.16, № 1. P. 34-39.

Шарифуллин Ильдар Азатович
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
г. Москва
Кандидат технических наук,
доцент кафедры «Подъемно-
транспортные системы»
105005, г. Москва, 2-я Бауманская
ул., д. 5, стр. 1
Тел. (499) 263-65-92
E-mail: sharifullin@bmstu.ru

Носко Андрей Леонидович
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
г. Москва
Доктор технических наук,
профессор кафедры «Подъемно-
транспортные системы»
105005, г. Москва, 2-я Бауманская
ул., д. 5, стр. 1
Тел. (499) 263-65-92
E-mail: nosko@bmstu.ru

Сафронов Евгений Викторович
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
г. Москва
Кандидат технических наук,
доцент кафедры «Подъемно-
транспортные системы»
105005, г. Москва, 2-я Бауманская
ул., д. 5, стр. 1
Тел. (499) 263-65-92
E-mail: safronov@bmstu.ru

I.A. SHARIFULLIN, A.L. NOSKO, E.V. SAFRONOV

SELECTION METHOD FOR MAGNETIC TYPE BRAKE ROLLERS FOR PALLET FLOW RACK

Abstract. A method is presented for calculating and selecting brake rollers of a magnetic type of disk design, which allows graphically assessing the safe and efficient operation of a gravitational roller conveyor in the operating range of masses and speeds of pallets, and determining the rational parameters of disk magnetic rollers. The proposed method is based on the developed mathematical model of the movement of a pallet along a disk magnetic roller and the obtained calculated dependences of the speed of movement of a pallet along it, depending on their design parameters, the slope of the gravity roller conveyor, the weight of the pallet, and the coefficient of magnetic viscosity. Examples of using the method are given and practical recommendations for the use of a magnetic brake roller are developed.

Keywords: pallet, gravity roller conveyor, gravity rack, magnetic (eddy current) brake roller, roller conveyor calculation, magnetic roller, conductive body, permanent magnet, eddy current brake.

BIBLIOGRAPHY

1. Metod vybora tablichnym sposobom tormoznykh rolikov magnitnogo tipa dlya pаллетnykh gravitatsionnykh stellazhey / I.A. Sharifullin [i dr.] // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2022. № 5 (355). P. 130-143.
2. Pat. 198420 Rossijskaya Federaciya, MPK B65G 13/075. Rolik tormoznoj magnitnyj dlya rolikovykh gravitacionnykh konvejerov / Nosko A.L., Safronov E.V., Potapov V.A., Sharifullin I.A.; zayavitel i patentoobladatel Zakrytoe akcionernoe obshchestvo «Inzhenerno-tekhnicheskij centr «KROS» - № 2020106638; zayavl. 12.02.2020; opubl. 06.07.2020. Byul. № 02-2020.
3. Sharifullin I.A., Safronov E.V., Nosko A.L. Razrabotka konstruktсии i otsenka rabotosposobnosti tormoznogo rolika magnitnogo tipa gravitatsionnykh konveyerov dlya poddonov s gruzom // Transport: nauka, tekhnika, upravleniye. Nauchnyy informatsionnyy sbornik. 2019. no. 4. P. 47-51.

4. Safronov E.V., Sharifullin I.A., Nosko A.L. Ustroystva bezopasnoy ekspluatatsii gravitatsionnykh rolikovykh konveyerov palletnogo tipa: monografiya / E.V. Safronov, I.A. Sharifullin, A.L. Nosko. - M.: Universitetskaya kniga, 2018 - 72 p.

5. Sharifullin I.A. Metod rascheta i vybora tormoznykh rolikov magnitnogo tipa dlya palletnykh gravitatsionnykh stellazhey: dis... kand. tekhn. nauk: 05.05.04 / Sharifullin Ildar Azatovich. M., 2022. 159 p.

6. Nosko A.L., Safronov E.V. Metodika opredeleniya maksimalno dopustimoy skorosti dvizheniya poddona na gravitatsionnom rolikovom konveyere / Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye. 2017. no. 8 (689). pp. 33-41.

7. Sharifullin I.A., Nosko A.L., Safronov E.V. Sravnitelnyy analiz raschetnykh i eksperimentalnykh issledovaniy skorosti dvizheniya pallety po tormoznomu roliku magnitnogo tipa // Vestnik SibADI. 2021. T. 18, № 2(78). P. 148-159.

8. Sharifullin I., Nosko A., Safronov E. Mathematical model of the pallet motion on a magnetic brake roller of a gravity flow rack // Acta Mechanica et Automatica. 2022. V.16, № 1. P. 34-39.

Sharifullin Ildar Azatovich
Bauman Moscow State Technical
University, Moscow
Ph.D. of Engineering Sciences,
Associate Professor of the
Department «Lifting and Transport
Systems»
105005, Moscow, 2-ya
Baumanskaya ul., 5, str. 1
Ph.: (499) 263-65-92
E-mail: sharifullin@bmstu.ru

Nosko Andrey Leonidovich
Bauman Moscow State Technical
University, Moscow
D.Sc. of Engineering Sciences,
Professor of the Department «Lifting
and Transport Systems»
105005, Moscow, 2-ya
Baumanskaya ul., 5, str. 1
Ph.: (499) 263-65-92
E-mail: nosko@bmstu.ru

Safronov Evgeniy Viktorovich
Bauman Moscow State Technical
University, Moscow
Ph.D. of Engineering Sciences,
Associate Professor of the
Department «Lifting and Transport
Systems»
105005, Moscow, 2-ya
Baumanskaya ul., 5, str. 1
Ph.: (499) 263-65-92
E-mail: safronov@bmstu.ru

© И.А. Шарифуллин, А.Л. Носко, Е.В. Сафронов, 2023

УДК 519.6

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-360-4-81-88

П.М. ШКАПОВ, А.В. СУЛИМОВ, В.Д. СУЛИМОВ

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ПО ЯКОБИ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА С ДЕМПФИРОВАНИЕМ

Аннотация. Рассматриваются задачи исследования устойчивости динамической системы в контексте теории Косамби–Картана–Черна. Описание эволюции системы во времени представлено в терминах геометрических структур, что позволяет определить пять геометрических инвариантов системы. Собственные значения второго инварианта дают оценку устойчивости системы по Якоби. Формулируется обратная задача восстановления параметров системы по заданным собственным значениям тензора кривизны отклонения. Решение регуляризованной обратной задачи определяется с использованием оптимизационного подхода. Скалярные критериальные функции предполагаются непрерывными, многомерными, локально липшицевыми, многоэкстремальными, не обязательно всюду дифференцируемыми. При поиске глобальных решений используется новый гибридный алгоритм, объединяющий стохастический метод сканирование пространства переменных и детерминированную процедуру локального поиска. Приводится численный пример восстановления существенных параметров эллиптического маятника с демпфированием.

Ключевые слова: динамическая система, демпфирование, устойчивость по Якоби, геометрический инвариант, восстановление параметров, критериальная функция, глобальная оптимизация, гибридный алгоритм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Giesl, P. Review on computational methods for Lyapunov functions / P. Giesl, S. Hafstein // Discrete & Continuous Dynamical Systems. – B, – 2015. – Vol. 20, № 8. – P. 2291-2331.

2. Böhmer, C.G. Jacobi stability analysis of dynamical systems – applications in gravitation and cosmology / C.G. Böhmer, T. Harko, S.V. Sabau // Advances in Theoretical and Mathematical Physics. - 2012. - Vol. 6, № 4. - P. 1145-1196.

3. Harko, T. Kosambi-Cartan-Chern (KCC) theory for higher order dynamical systems / T. Harko, P. Pantaragphong, S.V. Sabau // International Journal of Geometric Methods in Modern Physics. – 2016. – V. 13, № 2. – 1656014 (24 pages).

4. Gupta, T. Jacobi stability analysis of Rikitake system / T. Gupta // International Journal of Geometric Methods in Modern Physics. – 2016. – V. 13, № 7. – P. 1650098 (20 pages).
5. Harko, T. Jacobi stability analysis of the Lorenz system / T. Harko, C.Y. Ho, C.S. Leung, S. Yip // International Journal of Geometric Methods in Modern Physics. - 2015. - V. 12, № 7. 1550081 (23 ppages).
6. Yajima, T. Jacobi stability for dynamical systems of two-dimensional second-order differential equations and application to overhead crane system / T. Yajima, K. Yamasaki // International Journal of Geometric Methods in Modern Physics. – 2016. – V. 13, № 4. – P. 1650045 (16 pages).
7. Abolghasem H. Liapunov stability versus Jacobi stability // *Journal of Dynamical Systems and Geometric Theories*. – 2012. - Vol. 10, № 1. - P. 13-32.
8. Wang, Y. Optimization and regularization for computational inverse problems and applications / Y. Wang, A.G. Yagola, C. Yang. – Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2010. – XVIII+351 p.
9. Kvasov, D.E. Lipschitz global optimization method in control problems / D.E. Kvasov, Ya.D. Sergeev // Automation and Remote Control. – 2013. – Vol. 74, № 9. – P. 1435-1448.
10. Kirsch, A. An introduction to the mathematical theory of inverse problems. 2nd edition / A. Kirsch. – New York et al.: Springer, 2011. – XIV+308 p.
11. Lera, D. Deterministic global optimization using space-filling curves and multiple estimates of Lipschitz and Hölder constants / D. Lera, Ya.D. Sergeev // Computations in Nonlinear Science and Numerical Simulations. – 2015. – V. 23, № 1-3. – P. 326-342.
12. Sulimov, V.D. Jacobi stability and updating parameters of dynamical systems using hybrid algorithms / V.D. Sulimov, P.M. Shkapov, A.V. Sulimov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. № 468. 012040 (11 pages).

Шкапов Павел Михайлович
 Московский государственный
 технический университет им.
 Н.Э. Баумана, г. Москва
 Доктор технических наук, зав.
 кафедрой «Теоретическая
 механика» им. проф. Н.Е.
 Жуковского
 105005, г. Москва, ул. 2-я
 Бауманская, 5
 Тел. 8-499-263-69-69
 E-mail: spm2@bk.ru

Сулимов Валерий Дмитриевич
 Московский государственный
 технический университет им. Н.Э.
 Баумана, г. Москва
 Старший преподаватель кафедры
 «Теоретическая механика» им.
 проф. Н.Е. Жуковского
 105005, г. Москва, ул. 2-я
 Бауманская, 5
 Тел. 8-499-263-64-96
 E-mail: spm@bmstu.ru

Сулимов Андрей Валерьевич
 Филиал Московского
 государственного университета им.
 М.В. Ломоносова, г. Севастополь
 Старший преподаватель кафедры
 физики и геофизики
 299001, г. Севастополь, ул. Героев
 Севастополя, 7
 Тел. +7-(8692)-40-18-27
 E-mail: avs7@yandex.ru

P.M. SHKAPOV, A.V. SULIMOV, V.D. SULIMOV

JACOBI STABILITY ANALYSIS AND RESTORATING PARAMETERS OF THE DAMPED ELLIPTICAL PENDULUM

Abstract. Consideration is being given to problems of dynamical system stability studies in the context of Kosambi–Cartan–Chern theory. The description of the time evolution of a system is presented in terms of geometric structures. This makes it possible to determine five geometrical invariants of the system. Eigenvalues of the second invariant give the estimation of the Jacobi stability of the system. The inverse problem of restoring parameters of the system from given eigenvalues of the deviation curvature tensor is stated. The solution of the regularized inverse problem is obtained using the optimization approach. Scalar criterion functions are supposed being continuous, Lipschitzian, multiextremal, not necessary everywhere differentiable. Global solutions are searched for by use of new hybrid algorithms that combine the stochastic algorithm for scanning the search space and the deterministic procedure for local searching. A numerical example on restoring essential parameters of the damped elliptic pendulum is presented.

Keywords: dynamical system, damping, Jacobi stability, geometrical invariant, restoring parameters, criterion function, global optimization, hybrid algorithm.

BIBLIOGRAPHY

1. Giesl, P. Review on computational methods for Lyapunov functions / P. Giesl, S. Hafstein // Discrete & Continuous Dynamical Systems. – B, – 2015. – Vol. 20, № 8. – P. 2291-2331.
2. Böhmer, C.G. Jacobi stability analysis of dynamical systems – applications in gravitation and cosmology / C.G. Böhmer, T. Harko, S.V. Sabau // Advances in Theoretical and Mathematical Physics. - 2012. - Vol. 6, № 4. - P. 1145-1196.
3. Harko, T. Kosambi-Cartan-Chern (KCC) theory for higher order dynamical systems / T. Harko, P. Pantaraphong, S.V. Sabau // International Journal of Geometric Methods in Modern Physics. – 2016. – V. 13, № 2. – 1656014 (24 pages).

4. Gupta, T. Jacobi stability analysis of Rikitake system / T. Gupta // International Journal of Geometric Methods in Modern Physics. – 2016. – V. 13, № 7. – P. 1650098 (20 pages).
5. Harko, T. Jacobi stability analysis of the Lorenz system / T. Harko, C.Y. Ho, C.S. Leung, S. Yip // International Journal of Geometric Methods in Modern Physics. - 2015. - V. 12, № 7. 1550081 (23 ppages).
6. Yajima, T. Jacobi stability for dynamical systems of two-dimensional second-order differential equations and application to overhead crane system / T. Yajima, K. Yamasaki // International Journal of Geometric Methods in Modern Physics. – 2016. – V. 13, № 4. – P. 1650045 (16 pages).
7. Abolghasem H. Liapunov stability versus Jacobi stability // *Journal of Dynamical Systems and Geometric Theories*. – 2012. - Vol. 10, № 1. - P. 13-32.
8. Wang, Y. Optimization and regularization for computational inverse problems and applications / Y. Wang, A.G. Yagola, C. Yang. – Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2010. – XVIII+351 p.
9. Kvasov, D.E. Lipschitz global optimization method in control problems / D.E. Kvasov, Ya.D. Sergeev // Automation and Remote Control. – 2013. – Vol. 74, № 9. – P. 1435-1448.
10. Kirsch, A. An introduction to the mathematical theory of inverse problems. 2nd edition / A. Kirsch. – New York et al.: Springer, 2011. – XIV+308 p.
11. Lera, D. Deterministic global optimization using space-filling curves and multiple estimates of Lipschitz and Hölder constants / D. Lera, Ya.D. Sergeev // Computations in Nonlinear Science and Numerical Simulations. – 2015. – V. 23, № 1-3. – P. 326-342.
12. Sulimov, V.D. Jacobi stability and updating parameters of dynamical systems using hybrid algorithms / V.D. Sulimov, P.M. Shkapov, A.V. Sulimov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. № 468. 012040 (11 pages).

Shkapov Pavel Mikhailovich

Bauman Moscow State Technical
University, Moscow
Dr. Sci. (Eng.), Head of Theoretical
Mechanics Department named after
prof. N.E. Zhukovskiy
105005, Moscow, 2nd Baumanskaya
Street, 5
Ph.: 8-499-263-69-69
E-mail: spm2@bk.ru

Sulimov Valeriy Dmitrievich

Bauman Moscow State Technical
University, Moscow
Senior Teacher of Theoretical
Mechanics Department named after
prof. N.E. Zhukovskiy
105005, Moscow, 2nd Baumanskaya
Street, 5
Ph.: 8-499-263-64-96
E-mail: spm@bmstu.ru

Sulimov Andrey Valeryevich

Branch of Lomonosov Moscow
State University in Sevastopol,
Sevastopol
Senior Teacher of the
Department of Physics and
Geophysics
299001, Sevastopol, Geroev
Sevastopolya Street, 7
Ph.: +7-(8692)-40-18-27
E-mail: avs7@yandex.ru

© П.М. Шкапов, А.В. Сулимов, В.Д. Сулимов, 2023

СЕКЦИЯ «ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ИНСТРУМЕНТЫ»

УДК 658.512.011.56

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-360-4-89-94

А.В. НЕМЕНКО, М.М. НИКИТИН

НЕПРЯМЫЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ВТОРОГО ПОРЯДКА ПРИ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКЕ

Аннотация. При изготовлении поверхностей второго порядка с малыми совместными допусками на форму и чистоту возникает проблема остаточных релаксаций материала, искажающих форму готового изделия после завершения обработки. Этот эффект накладывает жесткие ограничения на материалы для прецизионных деталей и последовательность операций с ними, усложняя и удорожая процесс получения таких изделий. Непосредственный мониторинг напряжений осуществим только в изделиях из прозрачных материалов, для которых применяются поляризационные методы, вместе с тем существует потребность и в непрозрачных (в частности, в металлических) изделиях. В настоящей работе предложен способ установления стохастической связи между внутренней структурой изделия из произвольного материала путем установления стохастической связи между скрытым (реологическим) и контрольным (измеримым) параметрами с помощью скрытой марковской модели с непрерывным фазовым пространством состояний. Процесс совместного изменения значений двух параметров в выделенные моменты времени, соответствующие моментам контроля интерпретируется как двумерный марковский процесс, на основании которого строится скрытая марковская модель. Для адекватного прогнозирования эта модель требует обучения на непосредственных рядах измерений скрытого и контрольного параметра, после чего она может быть использована в прогностических целях.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Javidi, U. Rieger, W. Eichseder, The effect of machining on the surface integrity and fatigue life, International Journal of Fatigue, Volume 30, Issues 10–11, 2008, P. 2050-2055.
2. W. Zhang, Kewei Fang, Y. Hu, S. Wang, X.Wang, Effect of machining-induced surface residual stress on initiation of stress corrosion cracking in 316 austenitic stainless steel, Corrosion Science, Volume 108, 2016, P. 173-184.
3. Неменко А.В. Прикладные вопросы оценки технического состояния судовых механических систем/А.В. Неменко, М.М. Никитин, М.: Инфра-М, 2017. – 172 с.
4. Nemenko A.V., Nikitin M.M. Forecast estimator of surface machining completion. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2019, vol. 709, # 022006.
5. Dymarsky P. (Ed). Hidden Markov Models. Theory and Applications. InTech, 2011. - 324 p.
6. L. R. Rabiner. A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition, in *Proceedings of the IEEE*, vol. 77, no. 2, pp. 257-286, Feb. 1989, doi: 10.1109/5.18626.
7. Elliott R.J., Aggoun L., Moore J.B. Hidden Markov Models. Estimation and Control. Springer, 1995. — 302 p.
8. Ross S. M. Introduction to Probability Models. 9-th ed. /S.M. Ross – Elsevier, 2007 – 782 p.
9. Васильев К.К. Методы обработки сигналов/К.К. Васильев, Ульяновск, УлГТУ, 2001. – 80 с.
10. Неменко А.В. Оценка изменения структуры материала изделия при его механической обработке /А.В. Неменко, М.М. Никитин//Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2021, №4(348), С. 164-169.

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

INDIRECT EVALUATIONS OF SECOND-ORDER SURFACE QUALITY DURING FINISHING

Abstract. *In the manufacture of second-order surfaces with small joint tolerances for shape and cleanliness, the problem of residual relaxations of the material arises, distorting the shape of the finished product after processing is completed. This effect imposes severe restrictions on materials for precision parts and the sequence of operations with them, complicating and increasing the cost of obtaining such products. Direct monitoring of stresses is feasible only in products made of transparent materials, for which polarization methods are used, however, there is a need for opaque (in particular, metal) products. In this paper, we propose a method for indirect monitoring of the internal structure of a product made of an arbitrary material by establishing a stochastic relationship between the hidden (rheological) and control (measurable) parameters using a hidden Markov model with a continuous phase space of states. The process of joint change in the values of two parameters at selected points in time corresponding to the points of control is interpreted as a two-dimensional Markov process, on the basis of which a hidden Markov model is built. For adequate prediction, this model requires training on direct series of measurements of the latent and control parameter, after which it can be used for prognostic purposes.*

Keywords: *robotic machining, control by indirect parameters, hidden Markov model, continuous phase state space, random walk.*

BIBLIOGRAPHY

1. A. Javidi, U. Rieger, W. Eichseder, The effect of machining on the surface integrity and fatigue life, *International Journal of Fatigue*, Volume 30, Issues 10–11, 2008, P. 2050-2055.
2. W. Zhang, Kewei Fang, Y. Hu, S. Wang, X. Wang, Effect of machining-induced surface residual stress on initiation of stress corrosion cracking in 316 austenitic stainless steel, *Corrosion Science*, Volume 108, 2016, P. 173-184.
3. Nemenko A.V. Prikladnye voprosy ocenki tehnikeskogo sostojanija sudovyh mehanicheskikh sistem/A.V. Nemenko, M.M. Nikitin, M.: Infra-M, 2017. – 172 s.
4. Nemenko A.V., Nikitin M.M. Forecast estimator of surface machining completion. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2019, vol. 709, # 022006.
5. Dymarsky P. (Ed). *Hidden Markov Models. Theory and Applications*. InTech, 2011. - 324 p.
6. L. R. Rabiner. A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition, in *Proceedings of the IEEE*, vol. 77, no. 2, pp. 257-286, Feb. 1989, doi: 10.1109/5.18626.
7. Elliott R.J., Aggoun L., Moore J.B. *Hidden Markov Models. Estimation and Control*. Springer, 1995. — 302 p.
8. Ross S. M. *Introduction to Probability Models*. 9-th ed. /S.M. Ross – Elsevier, 2007 – 782 p.
9. Vasilev K.K. *Metody obrabotki signalov*/K.K. Vasilev, Uljanovsk, UIGTU, 2001. – 80 s.
10. Nemenko A.V. Ocenka izmenenija struktury materiala izdelija pri ego mehanicheskoj obrabotke /A.V. Nemenko, M.M. Nikitin//*Fundamentalnye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii*, 2021, №4(348), S. 164-169.

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

УДК 004.896

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-360-4-95-101

С.В. ВАСИЛЕНКО

РАЗРАБОТКА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО МЕТОДА И УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ, ДИАГНОСТИКИ И ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Аннотация. В статье рассмотрены существующие методы диагностики электродвигателей, основанных на анализе вибраций элементов электродвигателя, акустических колебаний, магнитного потока в зазоре двигателя, вторичных электромагнитных полей машины, температуры отдельных элементов машины, электрических и других параметров машины. Показано, что наиболее применяемыми остаются асинхронные двигатели. Указывается на то, что межвитковые замыкания в обмотке статора асинхронного двигателя остаются одним из самых распространенных дефектов, которые одновременно являются и наиболее трудно выявляемыми на ранней стадии неисправностями. Практика эксплуатации показала, что даже при замыкании небольшого количества витков в обмотке статора, двигатель продолжает работать, но дефект будет увеличиваться и вызывать местный перегрев изоляции в этих витках, поэтому его нужно незамедлительно диагностировать и применять меры для предупреждения возникновения аварийной ситуации. Существующие методы диагностики межвитковых замыканий асинхронных двигателей, позволяют обнаружить дефект уже на поздней стадии развития. Предложенный метод основывается на сравнении измеряемого фазного тока в обмотках с расчетным током, который определяется с учетом изменений сопротивлений схемы замещения асинхронного двигателя при возникновении замыкания соответствующего числа витков обмотки. Получены критерии выявления начального момента возникновения виткового замыкания в обмотке статора. Предложено устройство диагностики асинхронных двигателей для определения межвитковых замыканий на ранней стадии, и защиты двигателя от неполнофазных режимов. Описан алгоритм работы устройства.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, витковые замыкания, диагностика, параметры схемы замещения, метод диагностики, устройство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хомутов С.О. Система поддержания надежности электрических двигателей на основе комплексной диагностики и эффективной технологии восстановления изоляции [Электронный ресурс]: монография / С.О. Хомутов. – Электронные данные. – Барнаул: ООО МЦ «ЭОР», 2015. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
2. Дайнеко В.А. Методы диагностики асинхронных электродвигателей в рабочих режимах и перспективы их применения / В.А. Дайнеко, Ж.Г. Юрковец // Агропанорама. – Минск: БГАТУ, 2021. № 4. – С. 22–25.
3. Токарев Р.О. Способы диагностики электрических машин / Р.О. Токарев, В.В. Шапошников, Е.А. Чабанов // Материалы всероссийской научно-технической конференции «Автоматизированные системы управления и информационные технологии». – Пермь: ПНИПУ, 2020. – Т. 2. С. 93–99.
4. Рысбаева Г.Б. К вопросу о необходимости разработки автоматизированной системы контроля состояния асинхронного двигателя с использованием искусственных нейронных сетей / Г.Б. Рысбаева, А.Д. Умурзакова // Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 18: «Молодежь и наука – взгляд в будущее». Астана, 2022. – Т. 1, Ч. V. – С. 230-233.
5. Дайнеко В.А. Цифровые технологии в системах мониторинга электропривода технологических машин / В.А. Дайнеко, Е.М. Прищепова, Т.Г. Базулина, Ж.Г. Юрковец // Агропанорама. – Минск: БГАТУ, 2023. № 1. – С. 23–29.
6. Титко А.И. Новые методы диагностики асинхронных двигателей / И.А. Титко, В.М. Андриенко, А.В. Худяков, М.С. Гуторова // Праці Ін-ту електродинаміки НАНУ: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2014. – № 37. – С. 58–61.
7. Контроль состояния и диагностика машин. Сигнатурный анализ электрических сигналов трехфазного асинхронного двигателя: ГОСТ ISO 20958-2015: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации 12.11.15; введ. 11.01.16. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 24 с.
8. Бобров В.В. Оценка эффективности основных методов диагностики асинхронных электродвигателей / В.В. Бобров // Ползуновский вестник. – Барнаул: АлтГТУ, – 2012. – № 3/1. – С. 198–203.
9. Соколова О.В. Устройство для диагностики межвитковых замыканий и дефектов подшипников асинхронных двигателей / О.В. Соколова, И.С. Соколов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. Адмирала С.О. Макарова. – 2019. – Т.11, № 3. С. 592–599.
10. Жежеленко, И.В. Критерии выявления межвитковых замыканий в статорных обмотках с использованием векторного анализа фазных токов электродвигателя / И.В. Жежеленко, В.Е. Кривонос, С.В. Василенко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2021. – Т. 64, № 3. С. 202–218.

Василенко Сергей Викторович

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» г. Севастополь
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Океанотехника и кораблестроение»
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
E-mail: SVVasilenko@sevsu.ru

S.V. VASILENKO

DEVELOPMENT OF A NON-DESTRUCTIVE METHOD AND DEVICE

FOR MONITORING, DIAGNOSTICS AND PROTECTION OF ELECTRIC MOTORS

Abstract. *The article discusses the existing methods of diagnostics of electric motors based on the analysis of vibrations of electric motor elements, acoustic vibrations, magnetic flux in the gap of the motor, secondary electromagnetic fields of the machine, the temperature of individual elements of the machine, electrical and other parameters of the machine. It is shown that asynchronous motors remain the most widely used. It is pointed out that inter-turn short circuits in the stator winding of an asynchronous motor remain one of the most common defects, which at the same time are the most difficult to detect malfunctions at an early stage. Operational practice has shown that even when a small number of turns in the stator winding are closed, the motor continues to work, but the defect will increase and cause local overheating of the insulation in these turns, so it must be immediately diagnosed and measures must be taken to prevent an emergency. The existing methods of diagnostics of inter-turn circuits of asynchronous motors allow detecting a defect already at a late stage of development. The proposed method is based on comparing the measured phase current in the windings with the calculated current, which is determined taking into account changes in the resistances of the asynchronous motor replacement circuit when the corresponding number of winding turns occurs. The criteria for identifying the initial moment of occurrence of a winding circuit in the stator winding are obtained. A device for diagnosing asynchronous motors is proposed to determine inter-turn circuits at an early stage, and to protect the motor from incomplete phase modes. The algorithm of the device operation is described.*

Keywords: *asynchronous motor, winding circuits, diagnostics, parameters of the replacement circuit, diagnostic method, device.*

BIBLIOGRAPHY

1. Homutov S.O. Sistema podderzhaniya nadezhnosti elektricheskikh dvigatelej na osnove kompleksnoj diagnostiki i effektivnoj tekhnologii vosstanovleniya izolyacii [Elektronnyj resurs]: monografiya / S.O. Homutov. – Elektronnye dannye. – Barnaul: OOO MC «EOR», 2015. – 1 elektron. opt. disk (CD-ROM).
2. Dajneko V.A. Metody diagnostiki asinhronnyh elektrodvigatelej v rabochih rezhimah i perspektivy ih primeneniya / V.A. Dajneko, ZH.G. YUrkovec // Agropororama. – Minsk: BGATU, 2021. № 4. – S. 22–25.
3. Tokarev R.O. Sposoby diagnostiki elektricheskikh mashin / R.O. Tokarev, V.V. SHaposhnikov, E.A. CHabanov // Materialy vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii «Avtomatizirovannye sistemy upravleniya i informacionnye tekhnologii». – Perm: PNIPU, 2020. – T. 2. S. 93–99.
4. Rysbaeva G.B. K voprosu o neobходимosti razrabotki avtomatizirovannoj sistemy kontrolya sostoyaniya asinhronnogo dvigatelya s ispolzovaniem iskusstvennyh nejronnyh setej / G.B. Rysbaeva, A.D. Umurzakova // Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Sejfullinskie chteniya – 18: «Molodezh i nauka – vzglyad v budushchee». Astana, 2022. – T. I, CH. V. – S. 230-233.
5. Dajneko V.A. Cifrovye tekhnologii v sistemah monitoringa elektroprivoda tekhnologicheskikh mashin / V.A. Dajneko, E.M. Prishchepova, T.G. Bazulina, ZH.G. YUrkovec // Agropororama. – Minsk: BGATU, 2023. № 1. – S. 23–29.
6. Titko A.I. Novye metody diagnostiki asinhronnyh dvigatelej / I.A. Titko, V.M. Andrienko, A.V. Hudyakov, M.S. Gutorova // Praci In-tu elektrodinamiki NANU: Zb. nauk. pr. – K.: IED NANU, 2014. – № 37. – S. 58–61.
7. Kontrol sostoyaniya i diagnostika mashin. Signaturnyj analiz elektricheskikh signalov trekhfaznogo asinhronnogo dvigatelya: GOST ISO 20958-2015: prinyat Mezhdgosudarstvennym sovetom po standartizacii, metrologii i sertifikacii 12.11.15; vved. 11.01.16. – Moskva: Standartinform, 2016. – 24 s.
8. Bobrov V.V. Ocenka effektivnosti osnovnyh metodov diagnostiki asinhronnyh elektrodvigatelej / V.V. Bobrov // Polzunovskij vestnik. – Barnaul: AltGTU, – 2012. – № 3/1. – S. 198–203.
9. Sokolova O.V. Ustrojstvo dlya diagnostiki mezhvitkovykh zamykanij i defektov podshipnikov asinhronnyh dvigatelej / O.V. Sokolova, I.S. Sokolov // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. Admirala S.O. Makarova. – 2019. – T.11, № 3. S. 592–599.
10. ZHezhelenko, I.V. Kriterii vyyavleniya mezhvitkovykh zamykanij v statornykh obmotkah s ispolzovaniem vektornogo analiza faznyh tokov elektrodvigatelya / I.V. ZHezhelenko, V.E. Krivonosov, S.V. Vasilenko // Energetika. Izv. vyssh. ucheb. zavedenij i energ. ob"edinenij SNG. – 2021. – T. 64, № 3. S. 202–218.

Vasilenko Sergey Viktorovich

Sevastopol State University, Sevastopol
PhD., Associate Professor of the Department
«Ocean Engineering and Shipbuilding»
299053, Sevastopol, Universitetskaya str., 33
E-mail: SVVasilenko@sevsu.ru

А.В. ДОЛОГЛОНЯН, В.Т. МАТВЕЕНКО, А.Г. КЛИМЕНКО

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ГИБРИДНЫХ СОЛНЕЧНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ
МИКРОГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК**

Аннотация. Предметом рассмотрения в статье являются варианты комбинации солнечных гибридных микрогазотурбинных установок с установками органического цикла Ренкина (ОЦР) с различными рабочими телами. Исследованы гибридные солнечные микрогазотурбинные установки на базе микрогазотурбинных двигателей (МГТД) простого цикла (ПЦ), ПЦ с регенерацией теплоты (Р), ПЦ с турбокомпрессорным утилизатором (ТКУ) и ПЦ с ТКУ и Р в комбинации с установками ОЦР, работающими на воде, аммиаке, R123 и R1233zd для климатических условий Крымского полуострова. Определено, что наиболее подходящей конфигурацией МГТД для интегрирования фокусирующего солнечного коллектора (ФСК) является комбинация ПЦ с ТКУ и Р. Установлено, что комбинация МГТД ПЦ с ТКУ и Р с интегрированным ФСК в комбинации с ОЦР, работающей на R123, позволяет увеличить среднегодовой эффективный КПД таких установок до 48...55 % в зависимости от размеров ФСК, при этом сохранить когенерационные возможности за счет гибкого управления генерацией теплоты на номинальном режиме.

Ключевые слова: микрогазотурбинная установка, микротурбина, регенерация теплоты, фокусирующий солнечный коллектор, турбокомпрессорный утилизатор, органический цикл Ренкина, хладагент.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дологлонян А.В. Термодинамические характеристики сложных циклов микрогазотурбинных двигателей с интегрированным фокусирующим солнечным коллектором / А.В. Дологлонян, В.Т. Матвеевко, И.Н. Стаценко // Известия РАН. Энергетика. 2021. № 2. С. 1-23.
2. Дологлонян А.В. Термодинамические характеристики комбинированных циклов микрогазотурбинных двигателей для распределенной энергетики / А.В. Дологлонян, В.Т. Матвеевко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2020. – № 4 (342). – С. 130-143.
3. Матвеевко В.Т. Глубокая утилизация теплоты в газотурбинных двигателях с турбиной перерасширения / В.Т. Матвеевко // Промышленная теплотехника. – 1997. – Т. 19. – № 4-5. – С. 81-85.
4. Дологлонян А.В. Оптимизация степени регенерации для циклов микрогазотурбинных установок / А.В. Дологлонян, В.Т. Матвеевко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2020. – № 3 (341). – С. 59-66.
5. Dudley, V E, Kolb, G J, Mahoney, A R, Mancini, T R, Matthews, C W, Sloan, M, and Kearney, D. Test results: SEGS LS-2 solar collector. United States: N. p., 1994. Web. doi:10.2172/70756.
6. Forristall, R. Heat Transfer Analysis and Modeling of a Parabolic Trough Solar Receiver Implemented in Engineering Equation Solver. United States: N. p., 2003. Web. doi:10.2172/15004820.
7. Справочник по климату СССР, вып. 10 / Под ред. Е.И. Ильиных. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 125 с.
8. Дологлонян А.В. Выбор рабочего тела и оптимизация параметров органического цикла Ренкина / А.В. Дологлонян, В.Т. Матвеевко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2019. – № 5 (337). – С. 139-151.
9. [Электронный ресурс]. – 2019. – URL: http://neochemical.ru/File/DOWTHERM_A_TDS_Russian.pdf (дата обращения 31.05.19).
10. [Электронный ресурс]. – 2019. – URL: <https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/> (дата обращения 31.05.19).
11. Matviienko V. Working Process Control in a Ship Gas Turbine Engine of Complex Cycle / V/ Matviienko, V. Ocheretianyi // Prococoling of ASME Turbo Expo 2016: June 13-17, 2016, Seoul, South Korea.

Дологлонян Андрей Варгазарович
ФГБНУ «Институт природно-технических систем», г. Севастополь
заведующий лабораторией, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник
299011, Севастополь, Ленина, 28;
ФГБОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
кандидат технических наук, доцент
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

Матвеевко Валерий Тимофеевич
ФГБНУ «Институт природно-технических систем», г. Севастополь
Главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор
299011, Севастополь, Ленина, 28
e-mail: mvt3900@mail.ru

Клименко Александр Георгиевич
ФГБНУ «Институт природно-технических систем», г. Севастополь
ведущий инженер
299011, Севастополь, Ленина, 28
e-mail: kag195877@gmail.com

A.V. DOLOGLONYAN, V.T. MATVIENKO, A.G. KLIMENKO

THERMODYNAMIC CHARACTERISTICS OF HYBRID SOLAR COMBINED MICROGAS TURBINE PLANTS

Abstract. *The subject of consideration in the article is the options for combining solar hybrid micro-gas turbine plants with units of the organic Rankine cycle (ORC) with various working fluids. Hybrid solar micro-gas turbine plants based on a simple cycle of micro-gas turbine engines MGTE (SC), SC with heat regeneration (R), SC with a turbocompressor utilizer (TCU) and SC with TCU and R in combination with ORC units operating on water, ammonia, R123 and R1233zd have been investigated for the climatic conditions of the Crimean Peninsula. It has been determined that the most suitable MGTE configuration for integrating a focusing solar collector (FSC) is a combination of a SC with TCU and R. It has been established that the combination of a MGTE SC with TCU and R with an integrated FSC in combination with an ORC operating on R123 allows an increase in the average annual efficiency of such plants to 48... 55%, depending on the size of the FSC, while maintaining cogeneration capabilities due to flexible control of heat generation at nominal mode.*

Keywords: *micro-gas turbine plant, microturbine, heat regeneration, concentrating solar collector, turbocompressor utilizer, organic Rankine cycle, refrigerant.*

BIBLIOGRAPHY

1. Dologlonyan A.V. Termodinamicheskie harakteristiki slozhnykh tsiklov mikro-gazoturbinykh dvigatelej c integrirovannym fokusiruyushchim solnechnym kollektorom / A.V. Dologlonyan, V.T. Matveenko, I.N. Stacenko // Izvestiya RAN. Energetika. 2021. № 2. S. 1-23.
2. Dologlonyan A.V. Termodinamicheskie harakteristiki kombinirovannykh tsiklov mikro-gazoturbinykh dvigatelej dlya raspredelennoy energetiki / A.V. Dologlonyan, V.T. Matveenko // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva, 2020. – № 4 (342). – S. 130-143.
3. Matveenko V.T. Glubokaya utilizatsiya teploty v gazoturbinykh dvigatelyakh s turbinoj pererasshireniya / V.T. Matveenko // Promyshlennaya teplotekhnika. – 1997. – T. 19. – № 4-5. – S. 81-85.
4. Dologlonyan A.V. Optimizatsiya stepeni regeneratsii dlya tsiklov mikro-gazoturbinykh ustanovok / A.V. Dologlonyan, V.T. Matveenko // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva, 2020. – № 3 (341). – S. 59-66.
5. Dudley, V E, Kolb, G J, Mahoney, A R, Mancini, T R, Matthews, C W, Sloan, M, and Kearney, D. Test results: SEGS LS-2 solar collector. United States: N. p., 1994. Web. doi:10.2172/70756.
6. Forristall, R. Heat Transfer Analysis and Modeling of a Parabolic Trough Solar Receiver Implemented in Engineering Equation Solver. United States: N. p., 2003. Web. doi:10.2172/15004820.
7. Spravochnik po klimatu SSSR, vyp. 10 / Pod red. E.I. Ilinyh. L.: Gidrometeoizdat, 1966. 125 s.
8. Dologlonyan A.V. Vybor rabocheho tela i optimizatsiya parametrov organicheskogo tsikla Renkina / A.V. Dologlonyan, V.T. Matveenko // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva, 2019. – № 5 (337). – S. 139-151.
9. [Elektronnyj resurs]. – 2019. – URL: http://neochemical.ru/File/DOWTHERM_A_TDS_Russian.pdf/ (data obrashcheniya 31.05.19).
10. [Elektronnyj resurs]. – 2019. – URL: <https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/> (data obrashcheniya 31.05.19).
11. Matviienko V. Working Process Control in a Ship Gas Turbine Engine of Complex Cycle / V/ Matviienko, V. Ocheretiani // Prococoling of ASME Turbo Expo 2016: June 13-17, 2016, Seoul, South Korea.

Dologlonyan Andrey Vartazarovich

Institute of Nature and Technical Systems, Sevastopol
assistant professor, Leading Researcher, chief of laboratory
299011, Sevastopol, Lenina St., 28;
Sevastopol State University,
Sevastopol
Candidate of Technical Sciences,
assistant professor
299053, g. Sevastopol,
Universitetskaya, 33
e-mail: dologlonyan@mail.ru

Matveenko Valeriy Timofeevich

chief scientist, doctor of technical sciences, Professor,
299011, Sevastopol, Lenina St., 28
e-mail: mvt3900@mail.ru

Klimenko Alexander Georgievich

Institute of Nature and Technical Systems, Sevastopol
chief engineer,
299011, Sevastopol, Lenina St., 28
e-mail: kag195877@gmail.com

А.В. ДОЛОГЛОНЯН, В.Т. МАТВЕЕНКО, А.Г. КЛИМЕНКО

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИБРИДНЫХ СОЛНЕЧНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ МИКРОГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК НА ЧАСТИЧНЫХ НАГРУЗКАХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ НАГРУЖЕНИЯ

Аннотация. Работа гибридных солнечных энергетических установок часто осуществляется на частичных нагрузках в зависимости от условий эксплуатации. Поэтому необходимо оценить их характеристики и топливную экономичность на переменных режимах работы. Предметом рассмотрения в статье является исследование влияния схем газотурбинных двигателей на топливную эффективность гибридных солнечных комбинированных микрогазотурбинных установок (МГТУ) при работе на частичных нагрузках при генераторном и винтовом режимах нагружения. Установлено, что при снижении нагрузки гибридной солнечной комбинированной МГТУ, в отличие от обычной, в солнечное время приводит к росту ее эффективности для любой схемы при площадях апертуры фокусирующего солнечного коллектора больше пороговых. Проведенные исследования показали, что относительный коэффициент использования топлива на долевых нагрузках гибридных солнечных комбинированных МГТУ в большей степени зависит от схемы базового микрогазотурбинного двигателя и установки органического цикла Ренкина (ОЦР), чем от рода рабочего тела ОЦР.

Ключевые слова: микрогазотурбинная установка, микротурбина, регенерация теплоты, фокусирующий солнечный коллектор, турбокомпрессорный утилизатор, частичные нагрузки, органический цикл Ренкина, рабочее тело.

Работа выполнена по госбюджетной теме ИПТС «Создание научных основ разработки гибких мультигенерационных установок с использованием возобновляемых источников энергии и местных ресурсов холода в условиях климатических изменений» (№ госрегистрации 121122300068-6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дологлонян А.В. Термодинамические характеристики сложных циклов микрогазотурбинных двигателей с интегрированным фокусирующим солнечным коллектором / А.В. Дологлонян, В.Т. Матвеевко, И.Н. Стаценко // Известия РАН. Энергетика. 2021. № 2. С. 128-150.
2. Термодинамические характеристики гибридных солнечных микрогазотурбинных установок в условиях тропического климата / А.В. Дологлонян, Д.С. Стребков, В.Т. Матвеевко, И.Н. Стаценко // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2021. Т. 68. № 2(43). С. 20-35.
3. Матвеевко В.Т. Глубокая утилизация теплоты в газотурбинных двигателях с турбиной перерасширения / В.Т. Матвеевко // Промышленная теплотехника. 1997. Т. 19. № 4-5. С. 81-85.
4. Diener OF, van der Spuy SJ, von Backström TW, Hildebrandt T. Multi-Disciplinary Optimization of a Mixed-Flow Compressor Impeller. ASME Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air, Volume 8: Microturbines, Turbochargers and Small Turbomachines; Steam Turbines: V008T23A021. doi:10.1115/GT2016-57008.
5. Deng, Qing-Hua & Shao, Shuai & Fu, Lei & Luan, Hai-Feng. (2018). An Integrated Design and Optimization Approach for Radial Inflow Turbines – Part I: Automated Preliminary Design. Applied Sciences. 8. 2038. 10.3390/app8112038.
6. Vick, Michael & Young, Trent & Kelly, Matthew & Tuttle, Steven & Hinnant, Katherine. (2016). A Simple Recuperated Ceramic Microturbine: Design Concept, Cycle Analysis, and Recuperator Component Prototype Tests. V008T23A030. 10.1115/GT2016-57780.
7. Арбеков А.Н. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок / А.Н. Арбеков, А.Ю. Вараксин, Э.А. Мнушин, В.Е и др. М. Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. 678 с.
8. Дологлонян А.В. Оптимизация степени регенерации для циклов газотурбинных установок с кожухотрубными регенераторами / А.В. Дологлонян, В.Т. Матвеевко, В.А. Очеретяный // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2021. № 4 (348). С. 19-27.
9. Matviienko V. Variable regimes operation of cogenerative gas turbine engines with overexpansion turbine/ V. Matviienko, V. Ocheretianiy// Prococoligs of ASME Turbo Expo 2010: Power of Land, Sea and Air GT2010, June 14-18, 2010, Glasgow, UK, GT2010-22029.
10. Переходные процессы в газотурбинных установках / Под ред. д-ра техн. наук, проф. И. В. Котляра. Л.: Машиностроение. [Ленингр. отд-ние], 1973. 254 с.
11. Котляр И.В. Частичные и переходные режимы работы судовых газотурбинных установок. Л.: Судостроение. 1966. 294 с.
12. Матвеевко В.Т. Управление характеристиками замкнутых газотурбинных установок пропульсивных

- комплексов подводных судов / В.Т. Матвеевко, А.В. Дологлонян, В.А. Очеретяный // Морские интеллектуальные технологии. СПб.: НИЦ МИТ, 2021. № 4 (54) Т.1. С. 71-75.
13. Dudley, V E, Kolb, G J, Mahoney, A R, Mancini, T R, Matthews, C W, Sloan, M, and Kearney, D. Test results: SEGS LS-2 solar collector. United States: N. p., 1994. Web. doi:10.2172/70756.
14. Forristall, R. Heat Transfer Analysis and Modeling of a Parabolic Trough Solar Receiver Implemented in Engineering Equation Solver. United States: N. p., 2003. Web. doi:10.2172/15004820.
15. Справочник по климату СССР, вып. 10 / под ред. Е.И. Ильиных. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 125 с.
16. Даффи Дж. А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Дж.А. Даффи, У.А. Бекман. М.: Мир, 1977. 420 с.
17. Вукалович М.П. Термодинамика / М.П. Вукалович, И.И. Новиков. М.: Машиностроение, 1972. 672 с.
18. Дологлонян А.В. Выбор рабочего тела и оптимизация параметров органического цикла Ренкина / А.В. Дологлонян, В.Т. Матвеевко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2019. № 5 (337). С. 139-151.
19. [Электронный ресурс]. 2019. URL: http://neochemical.ru/File/DOWTHERM_A_TDS_Russian.pdf/ (дата обращения 31.05.19).
20. Дологлонян А.В. Термодинамические характеристики комбинированных циклов микрогазотурбинных двигателей для распределенной энергетики / А.В. Дологлонян, В.Т. Матвеевко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2020. № 4 (342). С. 130-143.
21. [Электронный ресурс]. 2019. URL: <https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/> (дата обращения 31.05.19).

Дологлонян Андрей Вартазарович
ФГБНУ «Институт природно-технических систем», г. Севастополь
заведующий лабораторией, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник
299011, Севастополь, Ленина, 28
e-mail: dologlonyan@mail.ru

Матвеевко Валерий Тимофеевич
ФГБНУ «Институт природно-технических систем», г. Севастополь
Главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор
299011, Севастополь, Ленина, 28
e-mail: mvt3900@mail.ru

Клименко Александр Георгиевич
ФГБНУ «Институт природно-технических систем», г. Севастополь
ведущий инженер
299011, Севастополь, Ленина, 28
e-mail: kag195877@gmail.com

A.V. DOLOGLONYAN, V.T. MATVIENKO, A.G. KLIMENKO

CHARACTERISTICS OF HYBRID SOLAR COMBINED MICROGAS TURBINE PLANTS FOR PARTIAL LOADS UNDER DIFFERENT LOADING METHODS

Abstract. *The operation of hybrid solar power plants is often carried out at partial loads, depending on the operating conditions. Therefore, it is necessary to evaluate their characteristics and fuel economy in variable operating modes. The subject of consideration in the article is the study of the influence of gas turbine engine circuits on the fuel efficiency of hybrid solar combined micro-gas turbine plants (MGTP) when operating under generator and screw loading modes. It has been established that with a decrease in the load of a hybrid solar combined MGTP, in contrast to the usual one, in solar time leads to an increase in its efficiency for any scheme with aperture areas of the focusing solar collector greater than the threshold ones. The completed studies have shown that the relative fuel utilization factor at partial loads of hybrid solar combined MGTPs depends to a greater extent on the scheme of the basic micro-gas turbine engine and the Rankine Organic Cycle (ORC) unit than on the type of ORC working fluid.*

Keywords: *micro-gas turbine plant, microturbine, heat recovery, concentrating solar collector, turbocharger utilizer, partial loads, Rankine Organic Cycle, working fluid.*

BIBLIOGRAPHY

1. Dologlonyan A.V. Termodinamicheskie harakteristiki slozhnyh ciklov mikrogaзoturbinyh dvigatelej s integrirovannym fokusiruyushchim solnechnym kollektorom / A.V. Dologlonyan, V.T. Matveenko, I.N. Stacenko // Izvestiya RAN. Energetika. 2021. № 2. pp. 128-150.
2. Termodinamicheskie harakteristiki gibridnyh solnechnykh mikrogaзoturbinyh ustanovok v usloviyah tropicheskogo klimata / A.V. Dologlonyan, D.S. Strebkov, V.T. Matveenko, I.N. Stacenko // Elektrotehnologii i elektrooborudovanie v APK. 2021. T. 68. № 2(43). pp. 20-35.
3. Matveenko V.T. Glubokaya utilizatsiya teploty v gaзoturbinykh dvigatelyakh s turbinoy pererashhireniya [Deep heat recovery in gas turbine engines with an overexpansion turbine], V.T. Matveenko. Promyshlennaya teplotekhnika. 1997. T. 19, № 4-5. pp. 81-85.
4. Diener OF, van der Spuy SJ, von Backström TW, Hildebrandt T. Multi-Disciplinary Optimization of a Mixed-Flow Compressor Impeller. ASME. Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air, Volume 8: Microturbines, Turbochargers and Small Turbomachines; Steam Turbines:V008T23A021. doi:10.1115/GT2016-57008.
5. Deng, Qing-Hua & Shao, Shuai & Fu, Lei & Luan, Hai-Feng. (2018). An Integrated Design and Optimization Approach for Radial Inflow Turbines – Part I: Automated Preliminary Design. Applied Sciences. 8. 2038.

10.3390/app8112038.

6. Vick, Michael & Young, Trent & Kelly, Matthew & Tuttle, Steven & Hinnant, Katherine. (2016). A Simple Recuperated Ceramic Microturbine: Design Concept, Cycle Analysis, and Recuperator Component Prototype Tests. V008T23A030. 10.1115/GT2016-57780.

7. Arbekov A.N. Teoriya i proektirovanie gazoturbinykh i kombinirovannykh ustanovok [Theory and design of gas turbine and combined plants], A.N. Arbekov, A.Yu. Varaksin, E.A. Mnushin, V.E i dr. – M. Izdatelstvo MGTU im. N.E. Baumana, 2017. 678 p.

8. Dologlonyan A.V. Optimizatsiya stepeni regeneratsii dlya tsiklov gazoturbinykh ustanovok s kozhukhotrubnymi regeneratorsami [Optimization of the regeneration degree for cycles of gas turbine plants with shell-and-tube regenerators], A.V. Dologlonyan, V.T. Matviienko, V.A. Ocheretyanyy. Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva, 2021. № 4 (348). pp. 19-27.

9. Matviienko V. Variable regimes operation of cogenerative gas turbine engines with overexpansion turbine, V. Matviienko, V. Ocheretyanyy. Prococoligs of ASME Turbo Expo 2010: Power of Land, Sea and Air GT2010, June 14-18, 2010, Glasgow, UK, GT2010-22029.

10. Perekhodnye protsessy v gazoturbinykh ustanovkakh [Transient processes in gas turbine plants]. Pod red. d-ra tekhn. nauk, prof. I. V. Kotlyara. Leningrad: Mashinostroenie. [Leningr. otd-nie], 1973. 254 p.

11. Kotlyar I.V. CHastichnye i perekhodnye rezhimy raboty sudovykh gazoturbinykh ustanovok. L.: Sudostroenie. 1966. 294 p.

12. Matviienko V.T. Upravlenie kharakteristikami zamknytykh gazoturbinykh ustanovok propulsivnykh kompleksov podvodnykh sudov [Controlling the characteristics of submarines propulsion complexes closed gas turbine plants], V.T. Matviienko, A.V. Dologlonyan, V.A. Ocheretyanyy. Morskie intellektualnye tekhnologii. S.Peterburg: NITs MIT, 2021. № 4 (54), T.I. pp. 71-75.

13. Dudley, V E, Kolb, G J, Mahoney, A R, Mancini, T R, Matthews, C W, Sloan, M, and Kearney, D. Test results: SEGS LS-2 solar collector. United States: N. p., 1994. Web. doi:10.2172/70756.

14. Forristall, R. Heat Transfer Analysis and Modeling of a Parabolic Trough Solar Receiver Implemented in Engineering Equation Solver. United States: N. p., 2003. Web. doi:10.2172/15004820.

15. Spravochnik po klimatu SSSR, vyp. 10 / pod red. E.I. Ilinykh. L.: Gidrometeoizdat, 1966. 125 p.

16. Daffi Dzh. A. Teplovye processy s ispolzovaniem solnechnoy energii / Dzh.A. Daffi, U.A. Bekman. M.: Mir, 1977. 420 p.

17. Dologlonyan A.V. Vybory rabocheho tela i optimizatsiya parametrov organicheskogo tsikla Rankina [Selection of the working fluid and optimization of the organic Rankine cycle parameters], A.V. Dologlonyan, V.T. Matviienko. Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. Orel: OGU im. I.S. Turgeneva, 2019. № 5 (337). pp. 139-151.

17. Vukalovich M.P. Termodinamika / M.P. Vukalovich, I.I. Novikov. M.: Mashinostroenie, 1972. 672 p.

18. Dologlonyan A.V. Vybory rabocheho tela i optimizatsiya parametrov organicheskogo tsikla Rankina / A.V. Dologlonyan, V.T. Matveenko // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. Orel: OGU im. I.S. Turgeneva, 2019. № 5 (337). pp. 139-151.

19. [Elektronnyy resurs]. 2019. URL: http://neochemical.ru/File/DOWTHERM_A_TDS_Russian.pdf/ (data obrashcheniya 31.05.19).

20. Dologlonyan A.V. Termodinamicheskie kharakteristiki kombinirovannykh tsiklov mikro-gazoturbinykh dvigatelej dlya raspredelennoy energetiki / A.V. Dologlonyan, V.T. Matveenko // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. Orel: OGU im. I.S. Turgeneva, 2020. № 4 (342). pp. 130-143.

21. [Elektronnyy resurs]. 2019. URL: <https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/> (data obrashcheniya 31.05.19).

Dologlonyan Andrey Vartazarovich
Institute of Nature and Technical Systems, Sevastopol
assistant professor, Leading Researcher, chief of laboratory
299011, Sevastopol, Lenina St., 28
e-mail: dologlonyan@mail.ru

Matveenko Valeriy Timofeevich
chief scientist, doctor of technical sciences, Professor,
299011, Sevastopol, Lenina St., 28
e-mail: mvt3900@mail.ru

Klimenko Alexander Georgievich
Institute of Nature and Technical Systems, Sevastopol
chief engineer,
299011, Sevastopol, Lenina St., 28
e-mail: kag195877@gmail.com

© А.В. Дологлонян, В.Т. Матвеенко, А.Г. Клименко, 2023

УДК 004.896

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-360-4-126-130

А.С. ДУДАРЕВ, Е.В. БАЯНДИН

РОБОТИЗИРОВАННОЕ ШЛИФОВАНИЕ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Аннотация. Статья посвящена решению задачи роботизированного шлифования и полирования лопаток в автоматическом режиме. Массовое производство деталей и сборочных единиц авиадвигателей актуально в Российской Федерации в связи с обновлением самолетного отечественного парка. Из средств массовой информации известно, что по госзаказам заказано к 2030 г. около 300 среднемагистральных самолетов типа МС-21, соответственно для выполнения этого плана потребуется в два раза больше авиационных газотурбинных двигателей. При постановке лопаток на поточное автоматизированное

производство могут быть решены технологические проблемы обусловленные как человеческим фактором, возникающие при ручном труде на операциях шлифования, так и другие производственные вопросы.

Для реализации роботизированного шлифования в статье предложен комплекс, работающий в паре с ленточно-шлифовальным оборудованием. Абразивная обработка работающая по принципу высокоскоростного движения бесконечной шлифовальной ленты относится к высоким технологиям. Комплекс работает по программе. С помощью дополнительного ленточного станка возможно выполнение операции полирования.

Ключевые слова: робот, лопатка, шлифование, полирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изотов П.С., Изотов Д.П. Двигатели ВК: первый двухконтурный // Двигатель. – 2001. - №3. – С. 42-43.
2. Пантелеев О. К. Композитная лопатка большого двигателя началась с малого // АвиаПорт.Ru. – 03.08.2020 URL: [<https://www.aviaport.ru/news/2020/08/03/648093.html>].
3. Идзон М. Ф. Механическая обработка лопаток газотурбинных двигателей. - Москва: Оборонгиз, 1963. - 320 с.
4. Степанов А. А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов. – Ленинград: Машиностроение, 1987. -176 с.
5. Коряжкин А.А. Методология адаптивного управления процессами контактного взаимодействия при ленточном шлифовании лопаток ГТД. Авторефер. дис. ...докт. техн. наук. – Рыбинск: РГАТУ им. П.А. Соловьева, 2014. – 32 с.
6. Кальченко В.И., Кальченко В.В., Кологойда А.В., Кириенко С.Ю. Шлифование криволинейных поверхностей лопаток газотурбинных двигателей абразивной лентой при помощи робота с ЧПУ РМ-01 // Вестник двигателестроения. – 2012. – №1. – С. 181-185.
7. Burghardt A., Szybicki D., GIERLAK P., Kurc K., MUSZYŃSKA M. Robotic Grinding Process of Turboprop Engine Compressor Blades with Active Selection of Contact Force //Tehnički vjesnik 29, 1(2022), pp. 15-22. [<https://doi.org/10.17559/TV-20190710141137>].
8. Паньков Л.А., Костин Н.В. Обработка инструментами из шлифовальной шкурки. – Ленинград: Машиностроение. Лен. отд., 1988. – 235 с.

Дударев Александр Сергеевич
ФГАОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет»,
г. Пермь
Кандидат технических наук, доцент каф. ИТМ
614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский
проспект, 29
Тел. 8 (342) 2198-236
E-mail: dudarev@pstu.ru

Баяндин Евгений Владимирович
ФГАОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет»,
г. Пермь
Студент 1 курса магистратуры, каф. ИТМ
614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский
проспект, 29
Тел. 8 (963) 858-38-89
E-mail: e-bayandin@mail.ru

A.S. DUDAREV, E.V. BAYANDIN

ROBOTIC GRINDING PROCESS OF BLADES OF GAS TURBINE ENGINES

Abstract. *The article is devoted to solving the problem of robotic grinding and polishing of blades in automatic mode. Mass production of parts and assembly units of aircraft engines is relevant in the Russian Federation in connection with the renewal of the domestic aircraft fleet. It is known from the media that by 2030 about 300 medium-haul aircraft of the MS-21 type have been ordered under state orders, respectively, to fulfill this plan, twice as many aircraft gas turbine engines will be required. When putting the blades on the flow of automated production, technological problems can be solved due to both the human factor that arise during manual labor in grinding operations, and other production issues.*

To implement robotic grinding, the article proposes a complex that works in tandem with belt grinding equipment. Abrasive processing, working on the principle of high-speed movement of an endless grinding belt, belongs to high technology. The complex works according to the program. With the help of an additional belt machine, a polishing operation is possible.

Keywords: robot, blade, grinding, polishing.

BIBLIOGRAPHY

1. Izotov P.C., Izotov D.P. Dvigateli VK: pervyj dvukonturnyj // Dvigatel. – 2001. - №3. – S. 42-43.
2. Panteleev O. K. Kompozitnaya lopatka bolshogo dvigatelya nachalas' s malogo // AviaPort.Ru. – 03.08.2020 URL: [<https://www.aviaport.ru/news/2020/08/03/648093.html>].
3. Idzon M. F. Mexanicheskaya obrabotka lopatok gazoturbinnyx dvigatelej. - Moskva: Oborongiz, 1963. - 320 s.

4. Stepanov A. A. Obrabotka rezaniem vysokoprochnykh kompozicionnykh polimernykh materialov. – Leningrad: Mashinostroenie, 1987. –176 s.
5. Koryazhkin A.A. Metodologiya adaptivnogo upravleniya processami kontaktnogo vzaimodejstviya pri lentochnom shlifovanii lopatok GTD. Avtorefer. dis. ...dokt. texn. nauk. – Ry`binsk: RGATU im. P.A. Solov`eva, 2014. – 32 s.
6. Kalchenko V.I., Kalchenko V.V., Kologojda A.V., Kirienko S.Yu. Shlifovanie krivolinejnykh poverxnostej lopatok gazoturbinnyx dvigatelej abrazivnoj lentoj pri pomoshhi robota s ChPU PM-01 // Vestnik dvigatelestroeniya. – 2012. – №1. – S. 181-185.
7. Burghardt A., Szybicki D., GIERLAK P., Kurc K., MUSZYŃSKA M. Robotic Grinding Process of Turboprop Engine Compressor Blades with Active Selection of Contact Force //Tehnički vjesnik 29, 1(2022), pp. 15-22. [<https://doi.org/10.17559/TV-20190710141137>].
8. Pankov L.A., Kostin N.V. Obrabotka instrumentami iz shlifovalnoj shkurki. – Leningrad: Mashinostroenie. Len. otd., 1988. – 235 s.

Dudarev Alexandr Sergeevich

”Perm National Research Polytechnics University”
(PNRPU), Perm
PhD in Engineering sciences, associate Professor of the
Department ”Innovative engineering technologies”
29 Komsomolsky prospect, Perm, 614990
Ph.: 8 (342) 239-17-55
E-mail: dudarev@pstu.ru

Bayandin Evgeniy Vladimirovich

”Perm National Research Polytechnics University”
(PNRPU), Perm
PhD student of the Department
”Innovative engineering technologies”
29 Komsomolsky prospect, Perm, 614990
Ph.: 8 (982) 498-05-55
E-mail: e-bayandin@mail.ru

© А.С. Дударев, Е.В. Баяндин, 2023

УДК 629.5

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-360-4-131-136

Л.С. ЕФРЕМОВА, Т.Л. ЧЕМАКИНА

ПРИМЕНЕНИЕ БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА В КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Аннотация. В статье приведена краткая историческая справка о развитии бетона и железобетона как альтернативного материала способного заменить дорогостоящий, а также опыт применения бетона и железобетона в современной промышленности в качестве не только корпусных конструкций, но и опорного основания и других железобетонных деталей станков. Проанализированы плюсы и минусы применения бетона и железобетона в машиностроении и судостроении. Одним из преимуществ использования деталей из данного материала является возможность создания более легких и компактных конструкций, что позволяет экономить на материалах и затратах на транспортировку. Проанализированы свойства составляющих бетона для железобетонных конструкций корпусов судов и плавсооружений. Выделены основные показатели качества бетона при проектировании корпусных конструкций. Рассмотрены характеристики бетона, применяемого для изготовления корпусных конструкций. Перечислены контролируемые прочностные характеристики бетонов для корпусных конструкций, а именно – прочность на осевое сжатие и прочность на осевое растяжение. Определены типы конструкций из бетонов в машиностроении. Рассмотрены различные методы, используемые для изготовления железобетонных конструкций. Перечислены железобетонные детали станочного оборудования, используемые для создания базовых элементов.

Ключевые слова: Бетонные корпусные конструкции, механическая прочность, железобетон, железобетонные детали станочного оборудования, полимербетонные станины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краткие исторические сведения о возникновении и развитии бетона и железобетона. <https://studfile.net/preview/2855041/page:3/>(обращение 12.07.2023 г.).
2. Железобетонные детали машин..Перспективы применения железобетона в машиностроении. <https://msd.com.ua/zhelezobetonnye-detali-mashin/perspektivu-primeneniya-zhelezobetona-v-mashinostroenii/>(обращение 12.07.2023 г.).
3. Как появились и зачем строились суда из железобетона? <https://www.ixbt.com/live/offtopic/kak-i-zachem-stroili-korabli-iz-betona-i-rochemu-oni-ne-uli.htm/>(обращение 12.07.2023 г.).
4. ОСК разработала линейку стоечных судов с унифицированным корпусом. <https://sudostroenie.info/novosti/37289.html>(обращение 12.07.2023г.)
5. Горохов М.С., Роннов Е. П., Определение массы корпуса железобетонного стоечного судна на стадии исследовательского проектирования / М. С. Горохов, Е. П. Роннов // Вестнигосударственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2015 –№ 2

6. Правила постройки корпусов морских судов и плавучих сооружений с применением железобетона. Российский Морской Регистр Судоходства, 2000 ISBN 5-89331-045-4

Ефремова Любовь Сергеевна

старший преподаватель базовой кафедры «Морские технологии» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: LSEfremova@sevsu.ru

Чемакина Тамара Львовна

канд. техн. наук, доцент кафедры «Океанотехника и кораблестроение» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: TLChemakina@sevsu.ru

L.S. EFREMOVA, T.L. CHEMAKINA

THE USE OF CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE IN HOUSING STRUCTURES

Abstract. *The article provides a brief historical background on the development of concrete and reinforced concrete as an alternative material capable of replacing expensive, as well as the experience of using concrete and reinforced concrete in modern industry as not only hull structures, but also the supporting base and other reinforced concrete machine parts. The pros and cons of using concrete and reinforced concrete in machine building and shipbuilding are analyzed. One of the advantages of using parts from this material is the possibility of creating lighter and more compact structures, which allows you to save on materials and transportation costs. The properties of the components of concrete for reinforced concrete structures of ship hulls and floating structures are analyzed. The main indicators of concrete quality in the design of hull structures are highlighted. The characteristics of concrete used for the manufacture of housing structures are considered. The controlled strength characteristics of concrete for hull structures are listed, namely, axial compression strength and axial tension strength. The types of concrete structures in mechanical engineering are determined. Various methods used for the manufacture of reinforced concrete structures are considered. The reinforced concrete parts of machine tools used to create basic elements are listed.*

Keywords: *Concrete hull structures, mechanical strength, reinforced concrete, reinforced concrete parts of machine equipment, polymer concrete frames.*

BIBLIOGRAPHY

1. Brief historical information about the origin and development of concrete and reinforced concrete. <https://studfile.net/preview/2855041/page:3> (appeal 12.07.2023).
2. Reinforced concrete machine parts..Prospects for the use of reinforced concrete in mechanical engineering. <https://msd.com.ua/zhelezobetonnye-detali-mashin/perspektivy-primeneniya-zhelezobetona-v-mashinostroenii/>(appeal 12.07.2023).
3. How did ships made of reinforced concrete appear and why were they built? <https://www.ixbt.com/live/offtopic/kak-i-zachem-stroili-korabli-iz-betona-i-pochemu-oni-ne-uli.htm> (accessed 12.07.2023)/
4. USC has developed a line of rack vessels with a unified hull. <https://sudostroenie.info/novosti/37289.html> (appeal 12.07.2023)
5. Gorokhov M.S., Ronnov E. P., Determination of the mass of the hull of a reinforced concrete rack vessel at the stage of research design / M. S. Gorokhov, E. P. Ronnov // Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S. O. Makarov. 2015 –№ 2
6. Rules for the construction of hulls of ships and floating structures using reinforced concrete. Russian Maritime Register of Shipping, 2000 ISBN 5-89331-045-4

Efremova Liubov Sergeevna

senior lecturer of the Department of Marine Technology Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053

Chemakina Tamara Lvovna

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Ocean Technology and Shipbuilding Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053

© Л.С. Ефремова, Т.Л. Чемакина, 2023

УДК 621.785.53:620.178.16.620.186

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-360-4-137-147

Л.И. КУКСЕНОВА, М.С. АЛЕКСЕЕВА, Д.А. КОЗЛОВ

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ АЗОТИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Аннотация. Приведены результаты структурных и трибологических исследований сталей и сплавов перлитного и мартенситного классов после химико-термической обработки. Проанализировано изменение износостойкости поверхностных слоев сталей и характеристик работоспособности пары трения в зависимости от условий триботехнических испытаний. Триботехнические испытания проводили по схемам однонаправленного скольжения, возвратно-поступательного скольжения, качения с проскальзыванием. Показано, что с триботехнической точки зрения высокая износостойкость азотированных сталей может быть достигнута не только оптимизацией технологического процесса химико-термической обработки, но и управлением процессом пластической деформации в зоне контакта, что определяется условиями триботехнических испытаний. Оценка триботехнических характеристик сталей разного по схемам скольжения и качения с проскальзыванием показала, что различия в величине износостойкости азотированной стали тесно связаны с характеристиками структурного состояния поверхностного слоя, отражающими процесс контактной деформации и поверхностного разрушения.

Ключевые слова: конструкционные материалы, стали и сплавы, азотирование, структура, поверхностные слои, износостойкость, схемы испытаний

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Караулов А.К., Бершадский Л.И., Костецкая Н.Б., Ляшко В.А., Сагач М.Ф. Поверхностная прочность материалов при трении. /Под ред. Б.И.Костецкого. Киев: Техника, 1976. 292 с.
2. Герасимов С.А., Куксенова Л.И., Лаптева В.Г. Структура и износостойкость азотированных конструкционных сталей и сплавов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2014. 518 с.
3. Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций. М.: Атомиздат, 1972. 600 с.
4. Л.И. Куксенова, В.Н. Симонов, М.С. Алексеева, С.А. Пахомова, Козлов Д.А. Исследование трения, износа и противозадирной стойкости тяжело нагруженных азотированных сопряжений//Трение и износ. 2021. Т. 42, № 3. С. 319—328.
5. Куксенова Л.И., Лаптева В.Г., Колмаков А.Г., Рыбакова Л.М. Методы испытаний на трение и износ. М.: Интенмет Инжиниринг, 2001. 152 с.
6. Куксенова Л.И., Герасимов С.А., Лаптева В.Г. Износостойкость конструкционных материалов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2011. 237 с.
7. Любарский И.М., Палатник Л.С. Металлофизика трения. М.: Металлургия. 1976. 176 с.

Куксенова Лидия Ивановна
Институт Машиноведения им.
А.А.Благоднарова РАН, г. Москва
Профессор, доктор технических
наук, главный научный сотрудник,
зав.лабораторией
Тел. 8-499-135-89-16 (служ.), 8-
910-426-08-56. E-mail:
lkuc@mail.ru
Совместитель – МГТУ им.
Н.Э.Баумана, каф.
Материаловедение, профессор.

Алексеева Мария Сергеевна.
НИЦ «Курчатовский институт» -
ВИАМ, ГНЦ РФ, г. Москва
Кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник
Тел. 8-915-340-33-86
E-mail: alekseeva_ms@list.ru
Совместитель – ИМАШ РАН им.
А.А.Благоднарова
Старший научный сотрудник

Козлов Дмитрий Александрович
Институт Машиноведения
им.А.А.Благоднарова РАН, г.
Москва
Кандидат технических наук,
научный сотрудник
Тел 8-499-135-60-79 (служ.), 8-
916-823-58-39
E-mail: kozlov74@mail.ru

L.I. KUKSENOVA, M.S. ALEKSEEVA, D.A. KOZLOV

WEAR RESISTANCE OF NITRIDED STEELS AT DIFFERENT TRIBOTECHNICAL TEST CONDITIONS

Abstract. The results of structural and tribological studies of steels and alloys of pearlitic and martensitic classes after chemical-thermal treatment are presented. The change in the wear resistance of the surface layers of steels and the performance characteristics of the friction pair are analyzed depending on the conditions of tribotechnical tests. Tribotechnical tests were carried out according to the schemes of unidirectional sliding, reciprocating sliding, rolling with slipping. It is shown that from the tribological point of view, high wear resistance of nitrided steels can be achieved not only by optimizing the technological process of chemical-thermal treatment, but also by controlling the process of plastic deformation in the contact zone, which is determined by the conditions of tribological tests. Evaluation of the tribological characteristics of steels with different sliding and rolling patterns with slip showed that the differences in the wear resistance of nitrided steel are closely related to the characteristics of the structural state of the surface layer, reflecting the process of contact deformation and surface destruction.

Keywords: *structural materials, steels and alloys, nitriding, structure, surface layers, wear resistance, schemes of tests*

BIBLIOGRAPHY

1. Kostetskii B.I., Nosovskii I.G., Karaulov A.K., Bershadskii L.I., Kostetskaya N.B., Lyashko V.A. Sagach M.F. Poverkhnostnaya prochnost materialov pri trenii. /Pod red. B.I.Kostetskogo. Kiev: Tekhnika, 1976. 292 s.
2. Gerasimov S.A., Kuksenova L.I., Lapteva V.G. Struktura i iznosostoikost azotirovannikh konstruksionnikh stalei i splavov. M.: Izd-vo MGTU im. N.E.Baumana, 2014. 518 s.
3. Khirt Dzh., Lote I. Teoriya dislokatsii. M.: Atomizdat, 1972. 600 s.
4. L.I. Kuksenova, V.N. Simonov, M.S. Alekseeva, S.A. Pakhomova, Kozlov D.A. Issledovanie treniya, iznosa i protivozadirnoi stoikosti tyazhelonagruzhennikh azotirovannikh sopryazhenii//Trenie i iznos. 2021. T. 42, № 3. S. 319—328.
5. Kuksenova L.I., Lapteva V.G., Kolmakov A.G., Ribakova L.M. Metodi ispitaniy na trenie i iznos. M.: Intenmet Inzhiniring, 2001. 152 s.
6. Kuksenova L.I., Gerasimov S.A., Lapteva V.G. Iznoosostoikost konstruksionnikh materialov. M.: Izd-vo MGTU im. N.E.Baumana, 2011. 237 s.
7. Lyubarskii I.M., Palatnik L.S. Metallofizika treniya. M.: Metallurgiya. 1976. 176 s.

Kuksenova Lydia Ivanovna

Institute of Mechanical Engineering named after A.A. Blagonravov RAS, Moscow
Professor, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Head of Laboratory
Tel. 8-499-135-89-16 (office), 8-910-426-08-56. E-mail: lkuc@mail.ru
Part-time worker - MSTU named after N.E. Bauman, department of Materials science, professor

Alekseeva Maria Sergeevna

NRC "Kurchatov Institute" - VIAM, State Research Center of the Russian Federation, Moscow
Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher
Tel. 8-915-340-33-86
E-mail: alekseeva_ms@list.ru
Part-time worker - IMASH RAS named after A.A. Blagonravov
Senior Researcher

Kozlov Dmitry Alexandrovich

Institute of Mechanical Engineering named after A.A. Blagonravov RAS, Moscow
Candidate of Technical Sciences, Researcher
Tel 8-499-135-60-79 (office), 8-916-823-58-39
E-mail: kozlov74@mail.ru

© Л.И. Куксенова, М.С. Алексеева, Д.А. Козлов, 2023

УДК 621.98

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-360-4-148-155

Р.Р. ШАГАЛЕЕВ, В.Ю. ЛАВРИНЕНКО

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «ЗАШИВКА» НА ЛИСТОШТАМПОВОЧНОМ МОЛОТЕ С БАБОЙ С НАПОЛНИТЕЛЕМ

Аннотация. На основе результатов экспериментально-теоретических исследований процесса гибки листовых заготовок на молотах был разработан новый технологический процесс изготовления детали «Зашивка», позволивший уменьшить в 2 раза количество ударов молота при гибке на листоштамповочном молоте модели МЛ-1,5 при использовании бабы молота с наполнителем, исключить трудоемкие операции ручной правки и отжига детали, а также уменьшить в 2 – 3 раза общую трудоемкость и время изготовления детали. Также спроектирована конструкция бабы (стесселя) с наполнителем листоштамповочного молота модели МЛ-1,5.

Ключевые слова: листовая штамповка, гибка, упругое пружинение, листоштамповочный молот, баба молота с наполнителем

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лавриненко В.Ю. Модернизация технологических машин ударного действия // Ремонт, восстановление, модернизация. 2017. № 2. С. 28-30.
2. Феофанова А.Е., Демин В.А., Евсюков С.А., Лавриненко В.Ю., Семенов Е.И. Патент на изобретение РФ № 2438825. Баба молота /опубл. 10.01.2012. Бюл. № 1.

3. Лавриненко В.Ю., Чуваев И.С. Экспериментальные исследования гибки листовых заготовок на молотах // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2016. №3 (317). С.133-136.
4. Лавриненко В.Ю., Шагалеев Р.Р., Чуваев И.С. Исследование зависимости упругого пружинения при гибке листовых заготовок от параметров бабы листоштамповочного молота с наполнителем // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2017. №3 (323). С.39-43.
5. Лавриненко В.Ю., Шагалеев Р.Р. Построение математической модели процесса гибки листовых заготовок с использованием бабы листоштамповочного молота с наполнителем // Заготовительные производства в машиностроении. 2018. Т. 16. 4. С. 162-168.
6. Vladislav Y. Lavrinenko, Ruslan R. Shagaleev. The Method of Reducing of Springback Effect during Impact Bending of Sheet Steel Blanks // Materials Science Forum. 2019, Volume 973, Pages 85-89. doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.973.85
7. Лавриненко В.Ю., Шагалеев Р.Р., Повышение точности деталей при штамповке на листоштамповочных молотах // XLIV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства: сборник тезисов. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020. Т.2. С. 429-430.
8. Патент на полезную модель РФ № 203749. Баба листоштамповочного молота / Лавриненко В.Ю., Семенов И.Е., Демин В.А., Шагалеев Р.Р. опублик. 19.04.2021. Бюл. №11.

Шагалеев Руслан Ринатович

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
Ассистент кафедры «Технология обработки материалов»
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр.1
Тел.: +7 (499) 267-02-36
E-mail: ruslanshag@mail.ru

Лавриненко Владислав Юрьевич

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
Доктор технических наук, заведующий кафедрой «Технология обработки материалов»
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр.1
Тел.: +7 (499) 267-02-36
E-mail: vlavrinenko@bmstu.ru

R.R. SHAGALEEV, V.Yu. LAVRINENKO

THE DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGICAL PROCESS FOR MANUFACTURING THE PART «SHELL» ON SHEET STAMPING HAMMER USING A HAMMER HEAD WITH A FILLER

Abstract. *The new technological process for manufacturing the part “Shell” was developed by means of the results of experimental and theoretical studies of the process of bending sheet blanks on hammers. It allows to reduce the number of hammer blows by 2 times when bending on a sheet-forming hammer model ML-1.5 by using a hammer head with filler, exclude a manual straightening and annealing of the part, as well as reduce the total labor intensity and time of manufacturing the part by 2–3 times. The design of a hammer head with a filler of a sheet-forging hammer of the ML-1.5 model was also offered.*

Keywords: *sheet-forming, bending, springback, sheet forming hammers, hammer head with filler.*

BIBLIOGRAPHY

1. Lavrinenko V.Yu. Modernizaciya tekhnologicheskikh mashin udarnogo dejstviya // Remont, vosstanovlenie, modernizaciya. 2017. № 2. S. 28-30.
2. Feofanova A.E., Demin V.A., Evsyukov S.A., Lavrinenko V.Yu., Semenov E.I. Patent na izobretenie RF № 2438825. Baba molota /opubl. 10.01.2012. Byul. № 1.
3. Lavrinenko V.Yu., Chuvaev I.S. Eksperimentalnye issledovaniya gibki listovyh zagotovok na molotah // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. 2016. №3 (317). S.133-136.
4. Lavrinenko V.Yu., Shagaleev R.R., Chuvaev I.S. Issledovanie zavisimosti uprugogo pruzhineniya pri gibke listovyh zagotovok ot parametrov baby listoshtampovochnogo molota s napolnitelem // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. 2017. №3 (323). S.39-43.
5. Lavrinenko V.YU., SHagaleev R.R. Postroenie matematicheskoy modeli processa gibki listovyh zagotovok s ispolzovaniem baby listoshtampovochnogo molota s napolnitelem // Zagotovitelnye proizvodstva v mashinostroenii. 2018. T. 16. 4. S. 162-168.
6. Vladislav Y. Lavrinenko, Ruslan R. Shagaleev. The Method of Reducing of Springback Effect during Impact Bending of Sheet Steel Blanks // Materials Science Forum. 2019, Volume 973, Pages 85-89. doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.973.85
7. Lavrinenko V.Yu., Shagaleev R.R., Povyshenie tochnosti detalej pri shtampovke na listoshtampovochnyh molotah // XLIV Akademicheskie chteniya po kosmonavtike, posvyashchennye pamyati akademika S.P. Korolyova i drugih vydayushchihsya otechestvennyh uchenyh — pionerov osvoeniya kosmicheskogo prostranstva: sbornik tezisov. Moskva: Izdatelstvo MGTU im. N.E. Bauman, 2020. T.2. S. 429-430.
8. Patent na poleznuyu model RF № 203749. Baba listoshtampovochnogo molota / Lavrinenko V.Yu., Semenov I.E., Demin V.A., Shagaleev R.R. opubl. 19.04.2021. Byul. №11.

Shagaleev Ruslan Rinatovich

Lavrinenko Vladislav Yurievich

Bauman Moscow State Technical University
Assistant of Department «Technology of material
working»
105005, Moscow, 2-ya Baumanskaya, 5
Tel.: +7 (499) 267-02-36
E-mail: ruslanshag@mail.ru

Bauman Moscow State Technical University
Doctor of Tech. Science, Head of Department
«Technology of material working»
105005, Moscow, 2-ya Baumanskaya, 5
Tel.: +7 (499) 267-02-36
E-mail: vlavrinenko@bmstu.ru

© Р.Р. Шагалеев, В.Ю. Лавриненко, 2023

УДК 665.7

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-360-4-156-163

А.А. МУХАМЕДЗЯНОВА, Р.Т. ЯППАРОВ, И.А. ИХСАНОВ

ВЛИЯНИЕ ГРУППОВОГО СОСТАВА НЕФТЯНЫХ ОСТАТКОВ НА СКЛОННОСТЬ К РАССЛОЕНИЮ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО НАГРЕВА

Аннотация. Рассмотрена устойчивость к коксообразованию гудронов различных нефтей и экстракта процесса дуосол в условиях динамического высокотемпературного нагрева. Определены предельные температуры нагрева гудронов, экстракта процесса дуосол и их смесей, выше которых наблюдается закоксовывание реакционного змеевика печи. В качестве параметра агрегативно-кинетической устойчивости предложено отношение абсолютного снижения температуры продуктов крекинга на выходе из печи Δt ко времени τ , за которое происходит это снижение $\Delta t/\tau$. Рассмотрено влияние асфальтенов на агрегативную устойчивость нефтяных остатков. Для уменьшения коксоотложения в печах установок термического крекинга и замедленного коксования рекомендовано сырье с низким содержанием асфальтенов и повышенной степенью ароматичности, режим движения сырья по змеевику печи должен быть турбулентным.

Ключевые слова: гудроны, экстракт, коксоотложение, агрегативно-кинетическая устойчивость, высокотемпературный динамический нагрев, групповой состав.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сюняев З.И., Сафиева Р.З., Сюняев Р.З. Нефтяные дисперсные системы. М.: Химия, 1990. - 226 с.
2. Хайбуллин А.А., Мухамедзянова А.А. Агрегативно-кинетическая устойчивость остаточных продуктов переработки нефти. Уфа.: РИНЦ УУНиТ, 2022. – 188 с.
3. Капустин В.М. Технология переработки нефти. Ч.2. Физико-химические процессы. М.: Химия, 2012, 400 с.

Мухамедзянова Альфия Ахметовна
ФГБОУ ВО «Уфимский университет
науки и технологий», доктор
технических наук, доцент,
заведующий кафедрой технической
химии и материаловедения,
450076, Республика Башкортостан,
г.Уфа, ул. Заки Валиди, д.32,
Тел. +7-347-228-62-55.
E-mail: alf6058@yandex.ru

Яппаров Руслан
ФГБОУ ВО «Уфимский
университет науки и
технологий», магистр,,
Республика Башкортостан,
г.Уфа, ул. Заки Валиди, д.32,
Тел. +7-347-228-62-55.
E-mail: rslstr@yandex.ru

Ихсанов Иршат Айратович
Фонд перспективных
исследований, кандидат
технических наук, руководитель
проекта,
121059 Москва, Бережковская
наб., д. 22, стр. 3,
Тел. +7-917-342-04-95,
E-mail: konversatom@yandex.ru

A.A. MUKHAMEDZYANOVA, R.T. YAPPAROV, I.A. IKHSANOV

INFLUENCE OF THE GROUP COMPOSITION OF OIL RESIDUES FOR TENDENCY TO DELAMINATION IN CONDITIONS OF HIGH-TEMPERATURE HEATING

Abstract. *The resistance to coke formation of tars of various oils and the extract of the duosol process under conditions of dynamic high-temperature heating is considered. The limiting temperatures for heating tars, the extract of the duosol process and their mixtures, above which coking of the reaction coil of the furnace is observed, are determined. As a parameter of aggregate-kinetic stability, the ratio of the absolute decrease in the temperature of cracking products at the outlet of the furnace Δt to the time τ during which this decrease $\Delta t/\tau$ occurs is proposed. The influence of asphaltenes on the aggregative stability of oil residues is considered. To reduce coking in the furnaces of thermal cracking and delayed coking units, feedstock with a low asphaltene content and a high degree of aromaticity is recommended; the feedstock movement mode along the furnace coil must be turbulent.*

Keywords: *tars, extract, coke deposition, aggregative-kinetic stability, high-temperature dynamic heating, group composition.*

BIBLIOGRAPHY

1. Syunyayev Z.I., Safiyeva R.Z., Syunyayev R.Z. Neftyanyye dispersnyye sistemy. M.: Khimiya. 1990. - 226s.
2. Khaybullin A.A., Mukhamedzyanova A.A. Agregativno-kineticheskaya ustoychivost ostatochnykh produktov pererabotki nefli. Ufa.: RINTs UUNiT. 2022. – 188 s.
3. Kapustin V.M. Tekhnologiya pererabotki nefli. Ch.2. Fiziko-khimicheskiye protsessy. M.: Khimiya. 2012. 400 s.

Mukhamedzyanova Alfiya Akhmetovna
FSBEI HE "Ufa University of Science and Technology", Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Technical Chemistry and materials science, 450076, Republic of Bashkortostan, Ufa, st.ZakiValidi, 32, Tel. + 7-347-228-62-55, E-mail: alf6058@yandex.ru

Yapparov Ruslan
FSBEI HE "Ufa University of Science and Technology", master, Republic of Bashkortostan, Ufa, st. Zaki Validi, 32, Tel. +7-347-228-62-55, E-mail: rslstr@yandex.ru

Ihsanov Irshat Ayratovich
Foundation for Advanced Research, Candidate of Technical Sciences, Project Manager, 121059 Moscow, Berezhkovskaya nab., 22, p. 3, Tel. +7-917-342-04-95, E-mail: konversatom@yandex.ru

© А.А. Мухамедзянова, Р.Т. Яппаров, И.А. Ихсанов, 2023

УДК 62-29, 621.74.04, 621.73.073

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-360-4-164-171

М.С. ДЕНИСОВ, П.А. ЧЕБОТАРЕВ, К.Е. ДАВЫДОВ, С.М. ПЕТУХОВА, И.А. ПЫЛИНОВ

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК ПОРШНЕЙ ДВС НА ГИДРОПРЕССОВОМ ОБОРУДОВАНИИ

Аннотация. *В представленной работе проведен расчет и спроектирован комплект технологической оснастки для производства заготовок поршней ДВС на гидропрессовом оборудовании. В качестве оборудования для производства заготовок поршней выбран горизонтальный гидравлический пресс оригинальной конструкции, для изотермической штамповки заготовок используется вертикальный гидравлический пресс. В работе представлены схемы и рассчитан объем запрессовываемого металла, разработан эскиз ЛПД – заготовки.*

Ключевые слова: *технологическая оснастка, поршень ДВС, гидропрессовое оборудование, давлением, изотермическая штамповка, кристаллизация.*

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-10156, <https://rscf.ru/project/23-29-10156/>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доценко, В.Н. Методика проектирования профиля поршня ДВС / В.Н. Доценко, А.В. Белогуб, И.Н. Москаленко // Вестник двигателестроения. Механика и машиностроение. Технологии материалов – Харьков: Нац. Аэрокосмический университет. – 2015. – №1 – С. 74-79.
2. Путинцев, С.В. Теоретическое и расчетное обоснование снижения механических потерь профилированием и модификацией трущейся поверхности поршня ДВС / С.В. Путинцев, М.Д. Пронин // Известие вузов. Машиностроение. – 2008. – № 12. – С. 33-42.

3. Петров, П. А. Изотермическая штамповка алюминиевых и магниевых сплавов: моделирование технологических процессов / П.А. Петров // Материалы международной научно-технической конференции ААИ МГТУ.—Москва: МГТУ «МАМИ». — 2010.—С. 107-113.
4. Тихомиров, В.А. Алюминиевые сплавы для изготовления поршней к суровым ДВС: проектирование, технология, контроль. Монография / В.А. Тихомиров, И.А. Тихомиров // КноРусс — Москва: 2019.—124 с.
5. Денисов, М.С. Повышение физико-механических свойств поршней ДВС на основе автоматизации управления процессом наложения давления на кристаллизующийся металл / М.С. Денисов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.—Орел: ОГУ. —2018. —№4-2 (330).—С. 124-132.
6. Денисов, М.С. Разработка управляющей программы для процесса опрессовки двигателей внутреннего сгорания / М.С. Денисов // Вычислительные нанотехнологии—Владимир: ВлГУ. —2015. —№2. —С.46—50.
7. Фиглин, С.З. Изотермическое деформирование металлов / С.З. Фиглин, В.В. Бойцов, Ю.Г. Калпин, Ю.И. Каплин // М.: Машиностроение. —1978. — 239 с.
8. Петров, П.А. Моделирование процессов изотермической штамповки алюминиевых и магниевых сплавов / П.А. Петров // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением.—2011. —№ 12. — С. 29— 36.
9. Горохов, Ю.В. Компьютерное моделирование процессов горячей объемной штамповки алюминиевых сплавов / Ю.В. Горохов, И.Л. Константинов // Известия ТулГУ.— 2017. — 11. С. 101—109.
10. Константинов, И. Л. Компьютерное моделирование процесса получения штампованной заготовки из сплава АК-12 для поршня двигателя внутреннего сгорания / И.Л. Константинов, Д.Г. Потапов, С.Б. Сидельников, Д.С. Ворошилов, Ю.В. Горохов, В.П. Катрюк // Цветная металлургия.—Москва.—2020.—№ 6.—С. 24-31.

Денисов Максим Сергеевич

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир
Кандидат технических наук, доцент каф. «Автоматизация, мехатроника и робототехника»
Тел. +7 (915)789-28-74
E-mail: denisovmaxim90@mail.ru

Чеботарев Петр Александрович

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир
Студент 4 курса бакалавриата каф. «Автоматизация, мехатроника и робототехника»
Тел. +7 (905) 145-98-38
E-mail: chebanoid@gmail.ru

Давыдов Кирилл Евгеньевич

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир
Студент 3 курса бакалавриата каф. «Автоматизация, мехатроника и робототехника»
Тел. +7 (901) 194-51-52
E-mail: k.davidov0@yandex.ru

Петухова Софья Максимовна

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир
Студентка 1 курса магистратуры каф. «Автоматизация, мехатроника и робототехника»
Тел. +7 (920) 920-93-07
E-mail: sofya.petukhova.01@mail.ru

Пылинов Илья Александрович

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир
Студент 3 курса бакалавриата каф. «Автоматизация, мехатроника и робототехника»
Тел. +7 (919) 013-88-34
E-mail: pylinov2002@mail.ru

M.S. DENISOV, P.A. CHEBOTAREV, K.E. DAVYDOV, S.M. PETUKHOVA, I.A. PYLINOV

CALCULATION AND DESIGN OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR THE PRODUCTION OF BLANKS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE PISTONS ON HYDRAULIC PRESS EQUIPMENT

Abstract. *In the presented work, a calculation was carried out and a set of technological equipment was designed for the production of blanks of internal combustion engine pistons on hydraulic press equipment. A horizontal hydraulic press of the original design was chosen as the equipment for the production of piston blanks, a vertical hydraulic press is used for isothermal stamping of blanks. The paper presents diagrams and calculates the volume of pressed metal, a sketch of the LPD billet is developed.*

Keywords: *technological equipment, internal combustion engine piston, hydraulic pressure equipment, pressure, isothermal stamping, crystallization.*

BIBLIOGRAPHY

1. Dotsenko, V.N. Methods of designing the internal combustion engine piston profile / V.N. Dotsenko, A.V. Belogub, I.N. Moskalenko // Bulletin of Engine building. Mechanics and mechanical engineering. Technologies of materials - Kharkiv: Nats. Aerospace University.-2015. —No.1 — p. 74-79.

2. Putintsev, S.V. Theoretical and computational justification for reducing mechanical losses by profiling and modification of the friction surface of the piston of the internal combustion engine / S.V. Putintsev, M.D. Pronin // Izvestiya vuzov. Mechanical engineering. -2008. -No. 12. - pp. 33-42.

3. Petrov, P. A. Isothermal stamping of aluminum and magnesium alloys: modeling of technological processes / P.A. Petrov // Materials of the International Scientific and Technical conference of AAI MSTU.-Moscow: MSTU "MAMI". - 2010.-pp. 107-113.

4. Tikhomirov, V.A. Aluminum alloys for the manufacture of pistons to severe internal combustion engines: design, technology, control. Monograph / V.A. Tikhomirov, I.A. Tikhomirov // KnoRuss - Moscow: 2019.-124 p.

5. Denisov, M.S. Improving the physical and mechanical properties of ICE pistons based on automation of control of the process of applying pressure to a crystallizing metal / M.S. Denisov // Fundamental and applied problems of engineering and technology.-Eagle: OGU. -2018. -№4-2 (330).- Pp. 124-132.

6. Denisov, M.S. Development of a control program for the process of crimping internal combustion engines / M.S. Denisov // Computational nanotechnologies-Vladimir: VISU. -2015.-No.2. -pp.46-50.

7. Figlin, S.Z. Isothermal deformation of metals / S.Z. Figlin, V.V. Boytsov, Yu.G. Kalpin, Yu.I. Kaplin // Moscow: Mashinostroenie. -1978. – 239 p.

8. Petrov, P.A. Modeling of processes of isothermal stamping of aluminum and magnesium alloys / P.A. Petrov // Forging and stamping production. Processing of pressure materials.-2011. -No. 12. – pp. 29-36.

9. Gorokhov, Yu.V. Computer modeling of processes of hot volumetric stamping of aluminum alloys / Yu.V. Gorokhov, I.L. Konstantinov // Izvestiya TulSU.- 2017. - 11. pp. 101-109.

10. Konstantinov, I. L. Computer modeling of the process of obtaining a stamped billet from an AK-12 alloy for an internal combustion engine piston / I.L. Konstantinov, D.G. Potapov, S.B. Sidelnikov, D.S. Voroshilov, Yu.V. Gorokhov, V.P. Katryuk // Non-ferrous metallurgy.- Moscow.-2020.-No. 6.-pp. 24-31.

Denisov Maxim Sergeevich

Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov, Vladimir Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Automation, Mechatronics and Robotics"
Tel. +7 (915)789-28-74
E-mail: denisovmaxim90@mail.ru

Chebotarev Pyotr Alexandrovich

Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov, Vladimir
4th year undergraduate student of the Department "Automation, Mechatronics and Robotics"
Tel. +7 (905) 145-98-38
E-mail: chebanoid@gmail.ru

Davydov Kirill Evgenievich

Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov, Vladimir
3rd year undergraduate student of the Department "Automation, Mechatronics and Robotics"
Tel. +7 (901) 194-51-52
E-mail: k.davidov0@yandex.ru

Petukhova Sofya Maksimovna

Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov, Vladimir
1st year student of the magistracy of the department "Automation, mechatronics and robotics"
Tel. +7 (920) 920-93-07
E-mail:sofya.petukhova.01@mail.ru

Pylnov Ilya Alexandrovich

Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov, Vladimir
3rd year undergraduate student of the Department "Automation, Mechatronics and Robotics"
Tel. +7 (919) 013-88-34
E-mail: pylinov2002@mail.ru

© М.С. Денисов, П.А. Чеботарев, К.Е. Давыдов, С.М. Петухова, И.А. Пылинов, 2023

УДК.621.7

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-360-4-172-183

М.А. СЕРЕЖКИН, М.Ф. ГРОССМАН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫТЯЖНОГО ИНСТРУМЕНТА, ИЗГОТОВЛЕННОГО МЕТОДОМ FDM ПЕЧАТИ

Аннотация. В статье представлены результаты исследования зависимости прочности изделий изготовленных методом FDM печати в зависимости от параметров процесса печати: толщина стенки, количество сплошных слоёв сверху и снизу изделия, процент заполнения, коэффициент экструзии. Данное исследование было проведено для оценки работоспособности FDM инструмента для холодной листовой штамповки (для реализации технологической операции вытяжка). Для оценки прочности определялся условный предел текучести по величине которого можно оценить работоспособность FDM инструмента. Проведя полный факторный (ПФЭ) эксперимент была получена математическая модель (уравнение регрессии) в

которой представлена зависимость условного предела текучести от параметров FDM печати. Показаны результаты испытаний образцов на разрыв. Представлены результаты ПФЭ по методике дисперсионного анализа. Дана оценка влияния каждого из параметров печати и их совместного влияния.

Ключевые слова: FDM печать, FDM инструмент, листовая штамповка, вытяжка, математическая модель, полный факторный эксперимент, испытание на растяжение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gupta P., Lee J. Rapid prototyping in die manufacturing. California: The Society of manufacturing Engineers Conference, 1993. P. 11-13.
2. Кононов И.Ю., Аксёнов Л.Б. Использование пластиковых штампов, изготовленных 3D-печатью, в обработке металлов давлением // Заготовительные производства в машиностроении. 2016. № 6. С. 22-26.
3. Z.H. Du, C.K. Chua, Y.S. Chua, K. G. Loh-Lee, S. T. Lim. Rapid sheet metal manufacturing, Part 1: indirect rapid tooling // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2002. Vol.19. №1. P. 411-417.
4. C. M. Cheah, C.K. Chua, C.W. Lee, S. T. Lim, K.H. Eu, L.T. Lin. Rapid sheet metal manufacturing, Part 2: direct rapid tooling // Advanced Manufacturing Technology. 2002. Vol.19. №7. P. 510-515.
5. P.C. Collins, C.V. Haden, I. Ghamarian, B.J. Hayes, T. Ales, G. Penso, V. Dixit, G. Harlow. Progress Toward an Integration of Process–Structure–Property–Performance Models for «Three-Dimensional (3-D) Printing» of Titanium Alloys // JOM. 2014. Vol.66. №7. P. 1299-1309.
6. Durgun I. Sheet metal forming using FDM rapid prototype tool // Rapid Prototyping Journal. 2015. Vol.21. №4. P. 412–422.
7. Madhura Athale, Taejoon Park, Ryan Hahnen, Farhang Pourboghrat. Experimental characterization and finite element simulation of FDM 3D printed polymer composite tooling for sheet metal stamping // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2022. Vol.121. P. 6973–6989.
8. John Ryan C. Dizon, Alejandro H. Espera Jr., Qiyi Chen, Rigoberto C. Advincula. Mechanical characterization of 3D-printed polymers // Additive Manufacturing. 2018. Vol. 20. P. 44–67.
9. M. Somireddy, C.V. Singh, A. Czekanski. Mechanical behaviour of 3D printed composite parts with short carbon fiber reinforcements // Engineering Failure Analysis. 2020. Vol. 107. P. 104232.
10. Mohammed Alharbi, Ing Kong, Vipulkumar Ishvarbhai Patel. Simulation of uniaxial stress–strain response of 3D-printed polylactic acid by nonlinear finite element analysis // Applied Adhesion Science. 2020. Vol. 8.
11. Cristina Vălean, Liviu Marşavina, Mihai Mărghiţaş, Emanoil Linul, Javad Razavi, Filippo Berto. Effect of manufacturing parameters on tensile properties of FDM printed specimens // Procedia Structural Integrity. 2020. Vol. 26. P. 313–320.
12. Mohammad Taregh Sepahi, Hisham Abusalma, Vukica Jovanovic, Hamid Eisazadeh. Mechanical Properties of 3D-Printed Parts Made of Polyethylene Terephthalate Glycol // Journal of Materials Engineering and Performance. 2021. Vol. 30. P. 6851–6861.
13. M. Samykano. Mechanical Property and Prediction Model for FDM-3D Printed Poly(lactic acid) (PLA) // Arabian Journal for Science and Engineering. 2021. Vol. 46. P. 7875–7892.
14. S. M. Lebedev, O. S. Gefle, E. T. Amitov, D. V. Zhuravlev, D. Y. Berchuk, E. A. Mikutskiy. Mechanical properties of PLA-based composites for fused deposition modeling technology // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2018. Vol. 97. P. 511–518.
15. Radoslaw A. Wach, Piotr Wolszczak, Agnieszka Adamus-Wlodarczyk. Enhancement of Mechanical Properties of FDM-PLA Parts via Thermal Annealing // Macromolecular Materials and Engineering. 2018. Vol. 308. P. 1800169
16. Lokesh N., Praveena B.A., Sudheer Reddy J., Vikram Kedambadi Vasu, Vijaykumar S. Evaluation on effect of printing process parameter through Taguchi approach on mechanical properties of 3D printed PLA specimens using FDM at constant printing temperature // Materials Today: Proceedings. 2022. Vol. 52. P. 511–518.
17. L. Sandanamsamy, W. S. W. Harun, I. Ishak, F. R. M. Romlay, K. Kadirgama, D. Ramasamy, S. R. A. Idris, F. A comprehensive review on fused deposition modelling of polylactic acid // Tsumori Progress in Additive Manufacturing. 2022.
18. Новик Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. – 301 с.
19. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.
20. Статистический анализ и теория планирования эксперимента: учеб. пособие / Сидняев Н. И.; МГТУ им. Н. Э. Баумана. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. - 195 с.: ил.
21. Рыжов Э.В. Математические методы в технологических исследованиях / Э.В. Рыжов, О.А. Горленко. – Киев: Наукова думка, 1990. – 184 с.

22. Ковка и штамповка: Справочник: В 4 т. Т. 4 Листовая штамповка / Под общ. ред. С.С. Яковлева; ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. – 2 изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2010 732 с.: ил.

Сережкин Михаил Александрович
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва
Доцент кафедры Технологии обработки
материалов
105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5
E-mail: pehobator@gmail.com

Гроссман Мария Фадеевна
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва
Студент кафедры Технологии обработки
материалов
105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5
E-mail: pehobator@gmail.com

M.A. SEREZHKIN, M.F. GROSSMAN

DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF DRAWING TOOLS MADE BY THE FDM PRINTING METHOD

Abstract. *The article presents the results of the study of the dependence of the strength of products made by the FDM printing method depending on the printing process parameters: wall thickness, the number of continuous layers on the top and bottom of the product, the percentage of filling, the extrusion coefficient. This study was conducted to evaluate the performance of FDM tooling for cold sheet stamping (to implement the technological operation of drawing). To estimate the strength, we determined the yield strength, the value of which can be used to evaluate the performance of FDM tools. By carrying out a full factor (PFE) experiment the mathematical model (regression equation) in which dependence of the conditional yield strength on parameters of FDM tool has been received. The results of tensile tests of the samples are shown. The results of FEM by the method of analysis of variance are presented. The estimation of the influence of each of the printing parameters and their joint influence is given.*

Keywords: *FDM printing, FDM tooling, sheet stamping, drawing, mathematical model, full factor experiment, tensile test.*

BIBLIOGRAPHY

1. Gupta P., Lee J. Rapid prototyping in die manufacturing. California: The Society of manufacturing Engineers Conference, 1993. P. 11-13.
2. Kononov I.YU., Aksonov L.B. Ispolzovaniye plastikovykh shtampov, izgotovlennykh 3D-pechatyu, v obrabotke metallov davleniyem // Zagotovitelnyye proizvodstva v mashinostroyeni. 2016. № 6. S. 22-26.
3. Z.H. Du, C.K. Chua, Y.S. Chua, K. G. Loh-Lee, S. T. Lim. Rapid sheet metal manufacturing, Part 1: indirect rapid tooling // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2002. Vol.19. №1. P. 411-417.
4. C. M. Cheah, C.K. Chua, C.W. Lee, S. T. Lim, K.H. Eu, L.T. Lin. Rapid sheet metal manufacturing, Part 2: direct rapid tooling // Advanced Manufacturing Technology. 2002. Vol.19. №7. P. 510-515.
5. P.C. Collins, C.V. Haden, I. Ghamarian, B.J. Hayes, T. Ales, G. Penso, V. Dixit, G. Harlow. Progress Toward an Integration of Process–Structure–Property–Performance Models for «Three-Dimensional (3-D) Printing» of Titanium Alloys // JOM. 2014. Vol.66. №7. P. 1299-1309.
6. Durgun I. Sheet metal forming using FDM rapid prototype tool // Rapid Prototyping Journal. 2015. Vol.21. №4. P. 412-422.
7. Madhura Athale, Taejoon Park, Ryan Hahnen, Farhang Pourboghrat. Experimental characterization and finite element simulation of FDM 3D printed polymer composite tooling for sheet metal stamping // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2022. Vol.121. P. 6973-6989.
8. John Ryan C. Dizon, Alejandro H. Espera Jr., Qiyi Chen, Rigoberto C. Advincula. Mechanical characterization of 3D-printed polymers // Additive Manufacturing. 2018. Vol. 20. P. 44-67.
9. M. Somireddy, C.V. Singh, A. Czekanski. Mechanical behaviour of 3D printed composite parts with short carbon fiber reinforcements // Engineering Failure Analysis. 2020. Vol. 107. P. 104232.
10. Mohammed Alharbi, Ing Kong, Vipulkumar Ishvarbhai Patel. Simulation of uniaxial stress-strain response of 3D-printed polylactic acid by nonlinear finite element analysis // Applied Adhesion Science. 2020. Vol. 8.
11. Cristina Vălean, Liviu Marşavina, Mihai Mărghiţaş, Emanoil Linul, Javad Razavi, Filippo Berto. Effect of manufacturing parameters on tensile properties of FDM printed specimens // Procedia Structural Integrity. 2020. Vol. 26. P. 313-320.
12. Mohammad Taregh Sepahi, Hisham Abusalma, Vukica Jovanovic, Hamid Eisazadeh. Mechanical Properties of 3D-Printed Parts Made of Polyethylene Terephthalate Glycol // Journal of Materials Engineering and Performance. 2021. Vol. 30. P. 6851-6861.
13. M. Samykano. Mechanical Property and Prediction Model for FDM-3D Printed Polylactic Acid (PLA) // Arabian Journal for Science and Engineering. 2021. Vol. 46. P. 7875-7892.

14. S. M. Lebedev, O. S. Gefle, E. T. Amitov, D. V. Zhuravlev, D. Y. Berchuk, E. A. Mikutskiy. Mechanical properties of PLA-based composites for fused deposition modeling technology // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2018. Vol. 97. P. 511–518.
15. Radoslaw A. Wach, Piotr Wolszczak, Agnieszka Adamus-Wlodarczyk. Enhancement of Mechanical Properties of FDM-PLA Parts via Thermal Annealing // Macromolecular Materials and Engineering. 2018. Vol. 308. P. 1800169
16. Lokesh N., Praveena B.A., Sudheer Reddy J., Vikram Kedambadi Vasu, Vijaykumar S. Evaluation on effect of printing process parameter through Taguchi approach on mechanical properties of 3D printed PLA specimens using FDM at constant printing temperature // Materials Today: Proceedings. 2022. Vol. 52. P. 511–518.
17. L. Sandanamsamy, W. S. W. Harun, I. Ishak, F. R. M. Romlay, K. Kadirgama, D. Ramasamy, S. R. A. Idris, F. A comprehensive review on fused deposition modelling of polylactic acid // Tsumori Progress in Additive Manufacturing. 2022.
18. Novik F.S. Optimizatsiya protsessov tekhnologii metallov metodami planirovaniya eksperimentov / F.S. Novik, YA.B. Arsov. M.: Mashinostroyeniye; Sofiya: Tekhnika, 1980. – 301 s.
19. Novitskiy P.V. Otsenka pogreshnostey rezultatov izmereniy / P.V. Novitskiy, I.A. Zograf. 2-ye izd., pererab. i dop. L.: Energoatomizdat, 1991. – 304 s.
20. Statisticheskiy analiz i teoriya planirovaniya eksperimenta: ucheb. posobiye / Sidnyayev N. I.; MGTU im. N. E. Baumana. - M.: Izd-vo MGTU im. N. E. Baumana, 2017. - 195 s.: il.
21. Ryzhov E.V. Matematicheskiye metody v tekhnologicheskikh issledovaniyakh / E.V. Ryzhov, O.A. Gorlenko. – Kiyev: Naukova dumka, 1990. – 184 s.
22. Kovka i shtampovka: Spravochnik: V 4 t. T. 4 Listovaya shtampovka / Pod obsch. red. S.S. Yakovleva; red. covet: Ye.I. Semenov (pred.) i dr. –2 izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroyeniye, 2010 732 s.: il.

Serezhkin Mikhail Alexandrovich

Bauman Moscow State Technical University, Moscow
Associate Professor of the Department of Material
Processing Technology
105005, Moscow, ul. 2-ya Baumanskaya, 5
E-mail: pehobatop@gmail.com

Grossman Mariya Fadeevna

Bauman Moscow State Technical University, Moscow
Student of the Department of Material Processing
Technology
105005, Moscow, ul. 2-ya Baumanskaya, 5
E-mail: pehobatop@gmail.com

© М.А. Серезкин, М.Ф. Гроссман, 2023

УДК 621.95

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-360-4-184-193

А.О. ХАРЧЕНКО, В.И. ГОЛОВИН, Е.А. ВЛАДЕЦКАЯ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕРЛЕНИЯ И РЕЗЬБОНАРЕЗАНИЯ ЭЛЕКТРОИНСТРУМЕНТОМ В МАШИНО- И СУДОСТРОЕНИИ

Аннотация. В статье приведены результаты мероприятий по повышению эффективности технологической системы процесса сверления электроинструментом, а также резьбонарезания в труднообрабатываемых материалах в условиях машино- и судостроения. Для повышения надежности и качества обработки при сверлении глубоких отверстий между патроном и сверлом размещается дополнительное устройство, предохраняющее инструмент от поломок путем устранения его раскручивания по длине рабочей части при различных заглублиниях. Уменьшение увода, изменения кривизны оси канала и диаметра отверстия обеспечили рост технологической надежности, снижение числа поломок сверла позволило повысить эксплуатационную надежность. Новая силовая резьбонарезная головка электроинструмента кроме главного движения позволяет метчику сообщать точную принудительную продольную подачу, равную шагу нарезаемой резьбы за каждый его оборот. Такой вариант резьбонарезной головки электроинструмента обеспечивает повышенную эффективность процесса при оснащении высоконадежным качественным инструментом в виде сборного пластического деформирующего метчика. Установка такого инструмента в специальном резьбонарезном патроне, закрепленном в шпинделе резьбонарезной головки, позволяет предохранять инструмент от поломки и компенсировать рассогласования по шагу резьбы и радиальные смещения. Проведенные на основе решения задач синтеза мероприятия по модернизации технологических систем позволяют повысить эффективность и надежность процессов сверления и резьбонарезания электроинструментом.

Ключевые слова: машино- и судостроение, сверление глубоких отверстий, электроинструмент, резьбонарезание, надежность, параметрические отказы, отказы функционирования, сверло, метчик, резьбонарезной патрон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дечко Э.М. Сверление глубоких отверстий в сталях / Э.М. Дечко. – Минск: Высшая школа, 1979. – 231 с.
2. Холмогорцев Ю.П. Оптимизация обработки отверстий / Ю.П. Холмогорцев. – М.: Машиностроение, 1984. – 184 с.
3. Заковоротный В.Л. Система оптимального управления процессом глубокого сверления отверстий малого диаметра / В.Л. Заковоротный, Т.С. Санкар, Е.В. Бордачев // Станки и инструмент, 1995. – №4. – С. 23-27.
4. Маталин А.А. Технология механической обработки / А.А. Маталин. – М.: Машиностроение, 1977. – 454 с.
5. Головин В.И. Надежность электроинструмента на примере сверлильных машин / В.И. Головин, А.О. Харченко. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2016. – 146 с.
6. Харченко А.О. Анализ и синтез структур современных многооперационных станков / А.О. Харченко, С.М. Братан, Е.А. Владецкая и др. – М.:Центркаталог, 2018. – 144 с.
7. Харченко А.О., Головин В.И., Владецкая Е.А. Устройство для сверления глубоких отверстий. Патент на изобретение UA 86839, C2,25.05.2009. Заявка UA № 200704627 от 25.04.2007.
8. Харченко А.О. Структурно-компоновочный синтез подсистем модулей для внутренней резьбообработки / А.О. Харченко, А.А. Харченко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», 2020. – № 4-2 (342). – С.85-94. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342- 4-2-85-94.
9. Канареев Ф.Н., Олейник В.А., Харченко А.О. Резьбонарезная головка для гибкого автоматизированного производства. Авторское свидетельство на изобретение SU 1355370, A1, 30.11.1987. Заявка № 3813384 от 19.11.1984.
10. Братан С.М., Канареев Ф.Н., Новиков П.А., Харченко А.О. Повышение точности формообразования мелкоразмерных резьб метчиками в алюминиевых сплавах. М., изд. «Вузовский учебник: ИНФРА-М», 2017, 164 с.
11. Канареев Ф.Н., Жаквич Б.Т., Сицкий Г.Н., Харченко А.О. Метчик. Авторское свидетельство на изобретение SU 1013154 A1, 23.04.1983. Заявка № 3003416 от 12.11.1980.
12. Канареев Ф.Н., Машин С.П., Харченко А.О. Резьбонарезной патрон. Авторское свидетельство на изобретение SU 1144791 A1, 15.03.1985. Заявка № 3487824 от 03.09.1982.
13. Харченко А.О. Анализ и исследование эксплуатационной и технологической надежности оборудования для внутренней мелкоразмерной резьбообработки / А.О. Харченко, Е.А. Владецкая // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», 2021. № 3 (347). – С.30-39. DOI: 10.33979/2073-7408-2021-346-2-30-39.

Харченко Александр Олегович
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
г. Севастополь
Кандидат технических наук,
профессор кафедры «Технология
машиностроения»
299053, г. Севастополь, ул.
Университетская, 33
Тел. +7 (8692) 41-77-41 доб. 1150
E-mail: khao@list.ru

Головин Василий Игоревич
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
г. Севастополь
Кандидат технических наук,
доцент, директор
Политехнического института
299053, г. Севастополь, ул.
Университетская, 33
Тел. +7 (8692) 417-741 доб.
1047
E-mail: vig220@mail.ru

Владецкая Екатерина Александровна
Морской институт им. вице-адмирала
В.А. Корнилова - филиал ФГБОУ ВО
"ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова,
г. Севастополь
Кандидат технических наук, доцент
кафедры "Судовая энергетика и
электрооборудование"
г. Севастополь, ул. Героев Севастополя,
11, корпус 8/22
Тел. +7 (8692) 48-74-39
E-mail: vladetska@rambler.ru

A.O. KHARCHENKO, V.I. GOLOVIN, E.A. VLADETSKAYA

INCREASING THE EFFICIENCY OF DRILLING AND THREADING WITH ELECTRIC TOOLS IN MACHINE- AND SHIPBUILDING

Abstract. *The article presents the results of measures to improve the efficiency of the technological system for the process of drilling with power tools, as well as threading in difficult-to-machine materials in the conditions of machine and shipbuilding. To improve the reliability and quality of processing when drilling deep holes, an additional device is placed between the chuck and the drill, which protects the tool from breakage by eliminating its untwisting along the length of the working part at various depths. Reduction of drift, changes in the curvature of the channel axis and hole diameter ensured an increase in technological reliability, a decrease in the number of drill breakages made it possible to*

increase operational reliability. The new power thread-cutting head of the power tool, in addition to the main movement, allows the tap to report an accurate forced longitudinal feed, equal to the pitch of the thread being cut for each of its revolutions. This version of the threading head of the power tool provides increased process efficiency when equipped with a highly reliable high-quality tool in the form of a prefabricated plastically deforming tap. The installation of such a tool in a special threading chuck fixed in the spindle of the threading head makes it possible to protect the tool from breakage and compensate for mismatches in thread pitch and radial displacements. Based on the solution of synthesis problems, measures for the modernization of technological systems make it possible to increase the efficiency and reliability of the processes of drilling and thread cutting with power tools.

Keywords: machine- and shipbuilding, deep hole drilling, power tools, thread cutting, reliability, parametric failures, functional failures, drill, tap, threading chuck.

BIBLIOGRAPHY

1. Dechko E.M. Sverleniye glubokikh otverstiy v stalyakh (*Drilling deep holes in steels*) / E.M. Dechko. – Minsk: Vysheyshaya shkola, 1979. – 231 s.
2. Kholmogortsev YU.P. Optimizatsiya obrabotki otverstiy (*Hole machining optimization*) / YU.P. Kholmogortsev. – M.: Mashinostroyeniye, 1984. – 184 s.
3. Zakovorotnyy V.L. Sistema optimalnogo upravleniya protsessom glubokogo sverleniya otverstiy malogo diametra (*Optimal control system for deep hole drilling in small holes*) / V.L. Zakovorotnyy, T.S. Sankar, Ye.V. Bordachev // *Stanki i instrument*, 1995. – №4. – S. 23-27.
4. Matalin A.A. Tekhnologiya mekhanicheskoy obrabotki (*Mechanical processing technology*) / A.A. Matalin. – M.: Mashinostroyeniye, 1977. – 454 s.
5. Golovin V.I. Nadezhnost elektroinstrumenta na primere sverlilnykh mashin (*The reliability of the power tool on the example of drilling machines*) / V.I. Golovin, A.O. Kharchenko. – M.: Vuzovskiy uchebnik: INFRA-M, 2016. – 146 s.
6. Kharchenko A.O. Analiz i sintez struktur sovremennykh mnogooperatsionnykh stankov: praktikum (*Analysis and synthesis of the structures of modern multioperational machines*) / A.O. Kharchenko, S.M. Bratan, Ye.A. Vladetskaya i dr. – M.: Tsentrkatalog, 2018. – 144 s.
7. Kharchenko A.O., Golovin V.I., Vladetskaya Ye.A. Ustroystvo dlya sverleniya glubokikh otverstiy (*Device for drilling deep holes*). Patent na izobreteniyе UA 86839, C2, 25.05.2009. Zayavka UA № 200704627 ot 25.04.2007.
8. Kharchenko A.O. Structural-layout synthesis of subsystems of modules for internal thread processing / A.O. Kharchenko, A.A. Kharchenko // *Fundamentalnyye i prikladnyye problem tekhniki i tekhnologii*. – Orel: FGBOU VO «OGU imeni I.S. Turgeneva», 2020. – № 4-2 (342). – S.85-94. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-2-85-94.
9. Kanareyev F.N., Oleynik V.A., Kharchenko A.O. Rezbomareznaya golovka dlya gibkogo avtomatizirovannogo proizvodstva (*Die head for flexible automated production*). Avtorskoye svidetelstvo na izobreteniyе SU 1355370, A1, 30.11.1987. Zayavka № 3813384 ot 19.11.1984.
10. Bratan S.M., Kanareyev F.N., Novikov P.A., Kharchenko A.O. Povysheniye tochnosti formoobrazovaniya melkorazmernykh rezb metchikami v aluminievyykh splavakh (*Improving the accuracy of shaping small-sized threads by taps in aluminum alloys*). – M., izd. «Vuzovskiy uchebnik: INFRA-M», 2017. – 164 s.
11. Kanareyev F.N., Zhakich B.T., Sitskiy G.N., Kharchenko A.O. Metchik (*Tap*). Avtorskoye svidetelstvo na izobreteniyе SU 1013154 A1, 23.04.1983. Zayavka № 3003416 ot 12.11.1980.
12. Kanareyev F.N., Mashin S.P., Kharchenko A.O. Rezbomareznoy patron (*Tapping chuck*). Avtorskoye svidetelstvo na izobreteniyе SU 1144791 A1, 15.03.1985. Zayavka № 3487824 ot 03.09.1982.
13. Kharchenko A.O. Analiz i issledovaniye ekspluatatsionnoy i tekhnologicheskoy nadezhnosti oborudovaniya dlya vnutrenney melkorazmernoy rezboobrabotki (*Analysis and study of the operational and technological reliability of equipment for internal small-size thread processing*) / A.O. Kharchenko, Ye.A. Vladetskaya // *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. – Orel: FGBOU VO «OGU imeni I.S. Turgeneva», 2021. № 3 (347). – S.30-39. DOI: 10.33979/2073-7408-2021-346-2-30-39.

Kharchenko Alexander Olegovich
"Sevastopol State University",
Sevastopol
Ph.D. in Tech Science, professor of
the department "Technology of
mechanical engineering"
299053, Sevastopol,
Universitetskaya St., 33
Tel. +7 (8692) 41-77-41 ext. 1150
E-mail: khao@list.ru

Golovin Vasily Igorevich
"Sevastopol State University",
Sevastopol
Ph.D. in Tech Science, associate
professor, Director of the
Polytechnic Institute
299053, Sevastopol,
Universitetskaya St., 33
Tel. +7 (8692) 417-741 ext.
1047
E-mail: vig220@mail.ru

Vladetskaya Ekaterina Alexandrovna
Maritime Institute vice-admiral V.A.
Kornilov - branch of "SMU named after
adm. F.F. Ushakov,
Sevastopol
Ph.D. in Tech Science, associate professor
of the department "Ship Energy and
Electrical Equipment"
Sevastopol, Geroyev Sevastopolya
St., 11, building 8/22
Tel. +7 (8692) 48-74-39
E-mail: vladetska@rambler.ru

А.О. ХАРЧЕНКО, А.А. ХАРЧЕНКО

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИБКОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО МОДУЛЯ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Аннотация. В статье представлены результаты оценки эффективности технологической системы на примере гибкого производственного модуля. Рассмотрен статистический подход к анализу эффекта воздействия независимых случайных факторов, связанных с технологией производства агрегатов, с мероприятиями по обслуживанию, с условиями эксплуатации и рядом других факторов, влияющих на работоспособность технологической системы. Для поддержания технологической системы модуля в исправном состоянии предпринимаются меры по восстановлению отказавших узлов. Для построения модели состояния технической готовности системы целесообразно воспользоваться теорией марковских процессов. Теория систем массового обслуживания позволяет получить оценку любого из состояний, в которых может находиться система, если известны значения интенсивностей всех информационных потоков. Затруднения происходят в случае необходимости ввода коррекции при изменениях параметров системы вследствие применения новых технологий обработки, более совершенных технических средств и других мероприятий, связанных с изменением интенсивностей потоков. Изменение интенсивности любого из потоков приводит к изменению вероятностей состояний всей системы, что усложняет реализацию коррекции. Проведенные мероприятия позволяют решить задачу коррекции интенсивностей потоков, обеспечивающих заданные свойства системы массового обслуживания, показана возможность решения обратной задачи для линейной системы уравнений прямым методом.

Ключевые слова: технологическая система, гибкий производственный модуль (ГПМ), вероятность, размеченный граф состояний, система массового обслуживания, коррекция, обратная задача.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Высшая школа, 2000. – 480 с.
2. Нахапетян Е.Г. Диагностирование оборудования гибкого автоматизированного производства / Е.Г. Нахапетян. – М.: Наука, 1985. – 224 с.
3. Долгин В.П. Надежность технических систем: учеб. пособие / В.П. Долгин, А.О. Харченко. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2015. – 167 с.
4. Novoselov, Yu.K., Kharchenko A.O. Choice of the Optimal Structure of a Flexible Production Cell / Novoselov, Yu.K., Kharchenko A.O. // Soviet engineering research, 1987. – 7(2), P. 48-52.
5. Харченко А.О. Разработка гибких производственных модулей с учетом надежности технологических систем / А.О. Харченко. – К.: Общество «Знание», 1989. – 20 с.
6. Харченко А.О. Анализ и синтез структур современных многооперационных станков: практикум / А.О. Харченко, С.М. Братан, Е.А. Владецкая, С.И. Рошупкин. – М.: Центркаталог, 2018. – 144 с.
7. Долгин В.П. Надежность в машиностроении. Методические указания к выполнению расчетно-графического задания / В.П. Долгин, А.О. Харченко, Е.А. Владецкая. – Севастополь: СевНТУ, 2014. – 27 с.
8. Харченко А.О. Практикум по научно-исследовательской деятельности в машиностроении: учебное пособие / А.О. Харченко, С.М. Братан, А.А. Харченко, Е.А. Владецкая. – М.: Центркаталог, 2022. – 288 с.

Харченко Александр Олегович
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения»
299053, г. Севастополь,
ул. Университетская, 33
Тел. +7 (8692) 41-77-41 доб. 1150
E-mail: khao@list.ru

Харченко Андрей Александрович
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт»
299053, г. Севастополь,
ул. Университетская, 33
Тел. +7 (8692) 54-35-70
E-mail: a.a.kharchenko@sevsu.ru

А.О. KHARCHENKO, А.А. KHARCHENKO

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF A FLEXIBLE PRODUCTION MODULE BASED ON SOLVING THE INVERSE QUEUING PROBLEM

Abstract. The article presents the results of evaluating the effectiveness of the technological system on the example of a flexible production module. A statistical approach to the analysis of the effect of the influence of independent random factors related to the technology of production of aggregates, with maintenance measures, with operating conditions and a number of other factors affecting the operability of the technological system is considered. To maintain the technological system of the module in good condition, measures are being taken to restore the failed nodes. To build a model of the state of technical readiness of the system, it is advisable to use the theory of Markov processes. The theory of queuing systems makes it possible to obtain an estimate of any of the states in which the system may be located, if the values of the intensities of all information flows are known. Difficulties occur if it is necessary to enter a correction for changes in system parameters due to the use of new processing technologies, more advanced technical means and other measures related to changes in flow intensities. A change in the intensity of any of the flows leads to a change in the probabilities of the states of the entire system, which complicates the implementation of the correction. The measures carried out make it possible to solve the problem of correcting the flow intensities that provide the specified properties of the queuing system, the possibility of solving the inverse problem for a linear system of equations by a direct method is shown.

Keywords: technological system, flexible production module (FPM), probability, marked up state graph, queuing system, correction, inverse problem.

BIBLIOGRAPHY

1. Venttsel Ye.S. Teoriya veroyatnostey i yeye inzhenernyye prilozheniya (*Probability theory and its engineering applications*) / Ye.S. Venttsel, L.A. Ovcharov. – M.: Vysshaya shkola, 2000. – 480 s.
2. Nakhapetyan Ye.G. Diagnostirovaniye oborudovaniya gibkogo avtomatizirovannogo proizvodstva (*Diagnosing Equipment for Flexible Automated Production*) / Ye.G. Nakhapetyan. – M.: Nauka, 1985. – 224 s.
3. Dolgin V.P. Nadezhnost tekhnicheskikh sistem (*Reliability of technical systems*) / V.P. Dolgin, A.O. Kharchenko. – M.: Vuzovskiy uchebnyk: INFRA-M, 2015. – 167 s.
4. Novoselov, Yu.K., Kharchenko A.O. Choice of the Optimal Structure of a Flexible Production Cell / Novoselov, Yu.K., Kharchenko A.O. // Soviet engineering research, 1987. – 7(2), P. 48-52.
5. Kharchenko A.O. Razrabotka gibkikh proizvodstvennykh moduley s uchetom nadezhnosti tekhnologicheskikh sistem (*Development of flexible production modules taking into account the reliability of technological systems*) / A.O. Kharchenko. – K.: Obshchestvo «Znaniye», 1989. – 20 s.
6. Kharchenko A.O. Analiz i sintez struktur sovremennykh mnogooperatsionnykh stankov: praktikum (*Analysis and synthesis of the structures of modern multioperational machines: practical*) / A.O. Kharchenko, S.M. Bratan, Ye.A. Vladetskaya, S.I. Roshchupkin. – M.: Tsentrkatalog, 2018. – 144 s.
7. Dolgin V.P. Nadezhnost v mashinostroyenii. Metodicheskiye ukazaniya k vypolneniyu raschetno-graficheskogo zadaniya (*Reliability in mechanical engineering. Guidelines for the implementation of the calculation and graphic task*) / V.P. Dolgin, A.O. Kharchenko, Ye.A. Vladetskaya. – Sevastopol: SevNTU, 2014. – 27 s.
8. Kharchenko A.O. Praktikum po nauchno-issledovatel'skoy deyatel'nosti v mashinostroyenii: uchebnoye posobiye (*Workshop on research activities in mechanical engineering: textbook*) / A.O. Kharchenko, S.M. Bratan, A.A. Kharchenko, Ye.A. Vladetskaya. – M.: Tsentrkatalog, 2022. – 288 s.

Kharchenko Alexander Olegovich
"Sevastopol State University",
Sevastopol
Ph.D., Professor of the department "Technology of
mechanical engineering"
299053, Sevastopol, Universitetskaya St., 33
Tel. +7 (8692) 41-77-41 доб. 1150
E-mail: khao@list.ru

Kharchenko Andrey Aleksandrovich
"Sevastopol State University", Sevastopol
Ph.D., Associate Professor of the department
"Automobile Transport"
299053, Sevastopol, Universitetskaya St., 33
Tel. +7 (8692) 54-35-70
E-mail: a.a.kharchenko@sevsu.ru

© А.О. Харченко, А.А. Харченко, 2023

УДК 621:77

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-360-4-202-208

С.А. ТИПАЛИН, Н.А. КУПРИЯНОВА

ПРАВКА СЖАТИЕМ ЛИСТОВЫХ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК МАЛОЙ КРИВИЗНЫ

Аннотация. Получение качественных изделий напрямую связано с исходной формой материала. Для получения исправления искажения плоской формы для штучных заготовок применяется правка сжатием. Возникающие напряжения и деформации в разнородном биметаллическом материале существенно отличаются от таковых в однородном материале. В работе предложена теория расчета правки давлением тонколистового

материала с разными свойствами в его слоях. Показаны результаты расчета технологических параметров процесса правки сжатием листового биметалла с малой исходной кривизной.

Ключевые слова: правка, сжатие листа, биметалл, пружинение, остаточные напряжения, кривизна листа

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слоним А.З., Сонин А.Л. Правка листового и сортового металла (технология и оборудование). М., «Металлургия», 1981. 232 с.
2. Плохих А.И., Сафонов М.Д., Колесников А.Г., Карпухин С.Д. Механизм релаксации межслойных напряжений в многослойных стальных материалах // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 2 (51). С. 26-32.
3. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – М.: Машиностроение, 1971. – 774 с
4. Ремнев К.С. Устойчивость тонкой полосы из анизотропного материала при правке растяжением // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. № 4. – С. 96-107.
5. Норицын И.А. Определение удельных усилий при правке листовых заготовок в штампах / И.А.Норицын, Ю.Г.Калпин, А.И.Бойченко // Вестник машиностроения – 1967. № 3. – С. 63-66
6. Рябов В.А. Определение напряжений в слоях листовой детали при правке давлением // Известия МГТУ. – 2013. № 2 (16).
7. Рябов В.А. Повышение качества и определение силовых параметров при правке деталей давлением // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 1998. 149 с.
8. Типалин С.А. Исследование изгиба упрочненного оцинкованного листа // Известия МГТУ МАМИ. – 2012. № 2 (14). – С. 199-204.
9. Типалин С.А., Шпунькин Н.Ф., Колесов А.В. Упругий изгиб биметаллического листа // Известия МГТУ МАМИ. – 2013. № 1 (15). – С. 103-106.
10. Котов К.А. Исследование и совершенствование процесса правки горячекатаных полос в условиях циклической знакопеременной деформации: дис. ... канд. техн. наук. Череповец, 2019. – 139 с: ил.
11. Шинкин В.Н. Приближенный метод расчета кривизны листа при правке на семироликовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2017. № 1-3. – С. 44-47.
12. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. № 5-1. – С. 134-141.
13. Калпин Ю.Г., Перфилов В.И., Петров П.А., Рябов В.А., Филиппов Ю.К. Сопроотивление деформации и пластичность металлов при обработке давлением /Учебное пособие по направ. 150201 (651400) "Машиностроительные технологии и оборудование" и специальности 150201 (120400) "Машины и технология обработки металлов давлением" (УМО). Москва, 2011. 244 с.

Типалин Сергей Александрович
Московский политехнический университет
Кандидат технических наук, профессор кафедры
«Обработка материалов давлением и аддитивные
технологии»
107023, Москва, ул. Большая Семёновская, 38
Тел.: +7 (495) 223-05-23
E-mail: s.a.tipalin@mospolytech.ru

Куприянова Надежда Андреевна
Московский политехнический университет
Аспирант кафедры «Обработка материалов
давлением и аддитивные технологии»
107023, Москва, ул. Большая Семёновская, 38
Тел.: +7 (495) 223-05-23
E-mail: kupriyanovana@mail.ru

S.A. TIPALIN, N.A. KUPRIYANOVA

CORRECTION BY COMPRESSION OF SHEET BIMETALLIC BILLETS OF SMALL CURVATURE

Abstract. *Obtaining high-quality products is directly related to the initial shape of the material. Correction by compression is used to correct the distortion of a flat shape for piece blanks. The resulting stresses and deformations in a heterogeneous bimetallic material differ significantly from those in a homogeneous material. The paper proposes a theory for calculating the pressure correction of thin-sheet material with different properties in its layers. The paper shows the results of the calculation of technological parameters of the process of correction by compression of sheet bimetal with a small initial curvature.*

Keywords: *correction, sheet compression, bimetal, springing, residual stresses, sheet curvature.*

BIBLIOGRAPHY

1. Slonim A.Z., Sonin A.L. Correcting of sheet and long metal (technology and equipment). M., "Metallurgy", 1981. 232 p.
2. Plokhikh A.I., Safonov M.D., Kolesnikov A.G., Karpukhin S.D. Mechanism of interlaminar stress relaxation in multilayer steel materials. 2018. No. 2 (51). pp. 26-32
3. Romanovsky V.P. Handbook of cold stamping. – M.: Mechanical Engineering, 1971. – 774 p.
4. Remnev K.S. Stability of a thin strip of anisotropic material correction stretching // News of TulSU. Technical sciences. - 2013. No. 4. – pp. 96-107.

5. Noritsyn I.A. Determination of specific forces when correcting sheet blanks in stamps / I.A.Noritsyn, Yu.G.Kalpin, A.I.Boychenko // Bulletin of Mechanical Engineering – 1967. No. 3. – pp. 63-66
6. Ryabov V.A. Determination of stresses in layers of sheet metal during pressure correction // Izvestiya MSTU. – 2013. № 2 (16).
7. Ryabov V.A. Improving the quality and determination of power parameters when correcting parts by pressure //dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. Moscow, 1998. 149 p.
8. Tupalin S.A. Study of bending of hardened galvanized sheet // Izvestia of MSTU MAMI. – 2012. № 2 (14). – Pp. 199-204.
9. Tupalin S.A., Shpunkin N.F., Kolesov A.V. Elastic bending of a bimetallic sheet // Izvestia of MSTU MAMI. – 2013. № 1 (15). – Pp. 103-106.
10. Kotov K.A. Research and improvement of the process of correcting hot-rolled strips in conditions of cyclic alternating deformation: dis.... candidate of Technical Sciences. Cherepovets, 2019. – 139 p.: ill.
11. Shinkin V.N. Approximate method of calculating the curvature of a sheet when correcting on a seven-roller machine // Actual problems of humanities and natural sciences. – 2017. № 1-3. – pp. 44-47.
12. Shinkin V.N. Correction of a sheet on an eight-roller machine. Part 1. Curvature of the sheet // Actual problems of humanities and natural sciences. - 2016. № 5-1. – pp. 134-141.
13. Kalpin Yu.G., Perfilov V.I., Petrov P.A., Ryabov V.A., Filippov Yu.K. Deformation resistance and ductility of metals during pressure treatment /Textbook on the direction. 150201 (651400) "Machine-building technologies and equipment" and specialty 150201 (120400) "Machines and technology of metal processing by pressure" (UMO). Moscow, 2011. 244 p.

Tipalin Sergey Alexandrovich
 Moscow Polytechnic University
 Candidate of technical sciences, professor of department
 of material forming and additive technologies
 107023, Moscow, B. Semyonovskaya St., 38
 Тел.: +7 (495) 223-05-23
 E-mail: s.a.tipalin@mospolytech.ru

Kupriyanova Nadezhda Andreevna
 Moscow Polytechnic University
 PhD student of department of material forming and
 additive technologies
 107023, Moscow, B. Semyonovskaya St., 38
 Тел.: +7 (495) 223-05-23
 E-mail: kupriyanovana@mail.ru

© С.А. Типалин, Н.А. Куприянова, 2023

УДК 629.114.2.042.027

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-360-4-209-220

Д.В. БУСАЛАЕВ, М.В. ЛЯШЕНКО, В.В. ШЕХОВЦОВ,
 П.В. ПОТАПОВ, М.В. МОРСКОВ, Е.В. КЛЕМЕНТЬЕВ

РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВИБРОИЗОЛЯТОРЫ В СИСТЕМАХ ПОДРЕССОРИВАНИЯ КАБИН КОЛЕСНЫХ И ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

Аннотация. В статье рассмотрены конструкции резинометаллических виброизоляторов системы подрессоривания кабин отечественных колесных и гусеничных машин. Приведены схемы и технические решения виброизоляторов кабины гусеничных тракторов – бульдозера Б11 производства ООО «ЧТЗ – УралТрак» и сельскохозяйственного трактора Агромаш-150ТГ. Рассмотрены технические решения виброизоляторов кабин колесных тракторов – ЛТЗ-55 производства Липецкого тракторного завода и К-700 Ленинградского Кировского завода. Проанализированы также устройства систем подрессоривания кабин зерноуборочных комбайнов производства Ростовского комбайнового завода. Приведены схемы и технические решения систем подрессоривания кабин отечественных грузовых автомобилей – КамАЗ-4308, ЗИЛ-133, ЗИЛ-5301 («Бычок»), ГАЗ-3307 и ГАЗель NEXT. Отмечены недостатки этих виброизоляторов, касающиеся недостаточных свойств виброзащиты от средне- и низкочастотных вибровоздействий. Описано предложенное авторами техническое решение виброизолятора с улучшенными характеристиками виброзащиты, позволяющее адаптивно изменять упругие и диссипативные свойства виброизолятора в зависимости от частот и амплитуд вибровоздействий. Виброизолятор включает в себя несколько блоков элементов из эластомера, контактирующие с корпусом виброизолятора поверхности которых выполнены волнообразными. Эти блоки выполнены из эластомеров с разными упругими и диссипативными свойствами. Техническое решение предложенного виброизолятора имеет неодинаковые упругие и диссипативные свойства в осевом и боковых направлениях, за счет чего адаптивно реагирует на вибровоздействие с разными амплитудами и частотами.

Ключевые слова: колесные и гусеничные машины, система подрессоривания кабины, резинометаллический виброизолятор, вибро- и шумоизолирующие свойства, упругие и диссипативные свойства, адаптивное изменение свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Модель подвески кабины трактора / А.В. Победин, О.Д. Косов, В.В. Шеховцов, К.В. Шеховцов // Прогресс транспортных средств и систем – 2009: матер. междунар. н.-пр. конф., Волгоград, 13-15 окт. 2009 г.: в 2 ч. Ч. 1 / ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 2009. – С. 222-223.
2. Анализ технических решений виброизоляторов / А.В. Победин, О.Д. Косов, В.В. Шеховцов, К.В. Шеховцов // Прогресс транспортных средств и систем – 2009: матер. междунар. н.-пр. конф., Волгоград, 13-15 окт. 2009 г.: в 2 ч. Ч. 1 / ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 2009. – С. 210-211.
3. Classification and Analysis of the Ways of Cabin Suspension Vibroinsulators` Characteristic Formation / В.В. Шеховцов, А.В. Победин, М.В. Ляшенко, К.В. Шеховцов // XXIX Seminarium Kół Naukowych "Mechaników", Warszawa, 22-23 kwietnia 2010 r.: referaty / Wojskowa Akademia Techniczna. – Warszawa, 2010. – S. 449-452. – Англ.
4. Development and Calculation Researches of the Vehicle`s Cabin Suspension Model / В.В. Шеховцов, А.В. Победин, М.В. Ляшенко, К.В. Шеховцов // XXIX Seminarium Kół Naukowych "Mechaników", Warszawa, 22-23 kwietnia 2010 r.: referaty / Wojskowa Akademia Techniczna. – Warszawa, 2010. – S. 453-458. – Англ.
5. Разработка модели и расчётные исследования подвески кабины транспортного средства / В.В. Шеховцов, А.В. Победин, М.В. Ляшенко, К.В. Шеховцов // Проектирование колёсных машин: матер. всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию начала подгот. инж. по автомобильной специальности в МГТУ им. Н.Э. Баумана (25-26 дек. 2009 г.) / ГОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". – М., 2010. – С. 184-188.
6. Победин, А.В. Расчётные исследования для совершенствования подвески кабины автомобиля / А.В. Победин, В.В. Шеховцов, К.В. Шеховцов // Какой автомобиль нужен России?: матер. 69-й междунар. науч. техн. конф. Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ) / ГОУ ВПО "Сибирская гос. автомоб.-дор. академия (СибАДИ)" [и др.]. – Омск, 2010. – С. 112-117.
7. Анализ и классификация технических решений виброизоляторов подвески кабины / В.В. Шеховцов, А.В. Победин, О.Д. Косов, К.В. Шеховцов // Проектирование колёсных машин: матер. всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию начала подгот. инж. по автомобильной специальности в МГТУ им. Н.Э. Баумана (25-26 дек. 2009 г.) / ГОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". – М., 2010. – С. 181-184.
8. Шеховцов, К.В. Vibration Isolators`s Laboratory Testing Plant / К.В. Шеховцов, А.В. Победин, О.Д. Косов // 30th Anniversary Seminar of the Students` Association for Mechanical Engineering (11-13.05.2011, Warsaw, Poland): book of Abstracts / Military University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering. – Warsaw, 2011. – S. 66-67. – Англ.
9. Шеховцов, В.В. Технические решения упруго-демпфирующих устройств подвески кабины трактора / В.В. Шеховцов, М.В. Ляшенко, В.П. Шевчук, Н.С. Соколов-Добрев, К.В. Шеховцов // Международный научно-исследовательский журнал = Research Journal of International Studies.– 2013. – № 7-2. – С. 122-125.
10. П. м. 124340 РФ, МПК F16F3/093, F16F1/373. Виброизолятор / В.В. Шеховцов, А.В. Победин, Вл.П. Шевчук, О.Д. Косов, М.В. Ляшенко, К.В. Шеховцов; ГОУ ВПО "Волгогр. гос. техн. ун-т". – 2013.

Бусалаев Дмитрий Викторович
тел. 8-919-541-08-72,
busalaeв_adres@mail.ru.

Ляшенко Михаил Вольфредович
доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры
«Техническая эксплуатация и
ремонт автомобилей»
Волгоградского
государственного технического
университета, 400005, РФ, г.
Волгоград, пр-т Ленина, 28,
тел. (8442) 24-81-62,
tslmv@vstu.ru

Шеховцов Виктор Викторович
доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры
«Техническая эксплуатация и
ремонт автомобилей»
Волгоградского государственного
технического университета, 400005,
РФ, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28,
тел. (8442) 24-81-16,
shehovtsov@vstu.ru

Потапов Павел Викторович
доцент кафедры «Техническая
эксплуатация и ремонт
автомобилей» Волгоградского
государственного технического
университета, 400005, РФ, г.
Волгоград, пр-т Ленина, 28,
тел. (8442) 24-81-62,
pvicpotapov@gmail.com

Морсков Максим Владимирович
студент Волгоградского
государственного технического
университета, 400005, РФ, г.
Волгоград, пр-т Ленина, 28,
тел. (8442) 24-81-62,
shehovtsov@vstu.ru

Клементьев Евгений Владимирович
аспирант кафедры «Транспортные
машины и двигатели»
Волгоградского государственного
технического университета, 400005,
РФ, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28,
тел. (8442) 24-81-62,
e-eevgenii@mail.ru

D.V. BUSALAEV, M.V. LYASHENKO, V.V. SHEKHOVTSOV, P.V. POTAPOV,
M.V. MORSKOV, E.V. KLEMENTIEV

RUBBER-METAL VIBRATION ISOLATORS FOR CABIN SUSPENSIONS OF WHEELED AND TRACKED VEHICLES

Abstract. This article describes designs of rubber-metal vibration isolators in cabin suspension systems of domestic wheeled and tracked vehicles. Authors presents schemes and technical solutions of cabin vibration isolators of crawler tractors: bulldozer B11 produced by LLC "CHTZ – Uraltrack" and agricultural tractor Agromash-150TG. Also, technical solutions of cabin vibration isolators of wheeled tractors: LTZ-55 produced by Lipetzk tractor factory and K-700 produced by JCS "Peterburg tractor factory" are presented. Schemes and technical solutions of cabin suspensions

of grain-harvesting combines produced by Rostov combines factory are presented. Authors analyzed designs of cabin suspension systems of domestic trucks: KamAZ-4308, ZIL-133, ZIL-5301 ("Bychok"), GAZ-3307 and GAZel NEXT. Disadvantages of mentioned vibration isolators referring to insufficient vibration protection characteristics in mid- and low-frequency diapason are noted. This paper describes scheme of the vibration isolator with improved characteristics of vibration protection proposed by authors. This vibration isolator provides adaptive changing of its elastic and damping characteristics in accordance with frequencies and amplitudes of excitations. The vibration isolator structure includes several element blocks made of elastomer. These blocks contact with the vibration isolator case and blocks surfaces are made undulating. Also, blocks produced from elastomers with various elastic and damping parameters. The proposed scheme of the vibration isolator has unequal elastic and damping characteristics both in axial and lateral directions and thus adaptively reacts on vibration excitations with various amplitudes and frequencies.

Keywords: wheeled and tracked vehicles, cabin suspension, rubber-metal vibration isolator, vibration and noise protection characteristics, elastic and damping parameters, adaptive characteristic change.

BIBLIOGRAPHY

1. Model podveski kabiny traktora / A.V. Pobedin, O.D. Kosov, V.V. SHEkhovcov, K.V. SHEkhovcov // Progress transportnyh sredstv i sistem – 2009: mater. mezhdunar. n.-pr. konf., Volgograd, 13-15 okt. 2009 g.: v 2 ch. CH. 1 / VolgGTU [i dr.]. – Volgograd, 2009. – С. 222-223.
2. Analiz tekhnicheskikh reshenij vibroizolyatorov / A.V. Pobedin, O.D. Kosov, V.V. SHEkhovcov, K.V. SHEkhovcov // Progress transportnyh sredstv i sistem – 2009: mater. mezhdunar. n.-pr. konf., Volgograd, 13-15 okt. 2009 g.: v 2 ch. CH. 1 / VolgGTU [i dr.]. – Volgograd, 2009. – С. 210-211.
3. Classification and Analysis of the Ways of Cabin Suspension Vibroinsulators` Characteristic Formation / V.V. SHEkhovcov, A.V. Pobedin, M.V. Lyashenko, K.V. SHEkhovcov // XXIX Seminarium Kół Naukowych "Mechaników", Warszawa, 22-23 kwietnia 2010 r.: referaty / Wojskowa Akademia Techniczna. – Warszawa, 2010. – S. 449-452. – Angl.
4. Development and Calculation Researches of the Vehicle`s Cabin Suspension Model / V.V. SHEkhovcov, A.V. Pobedin, M.V. Lyashenko, K.V. SHEkhovcov // XXIX Seminarium Kół Naukowych "Mechaników", Warszawa, 22-23 kwietnia 2010 r.: referaty / Wojskowa Akademia Techniczna. – Warszawa, 2010. – S. 453-458. – Angl.
5. Razrabotka modeli i raschyotnye issledovaniya podveski kabiny transportnogo sredstva / V.V. SHEkhovcov, A.V. Pobedin, M.V. Lyashenko, K.V. SHEkhovcov // Proektirovanie kolyosnyh mashin: mater. vseros. nauch.-tekhn. konf., posvyashch. 100-letiyu nachala podgot. inzh. po avtomobilnoj specialnosti v MGTU im. N.E. Baumana (25-26 dek. 2009 g.) / GOU VPO "MGTU im. N.E. Baumana". – M., 2010. – С. 184-188.
6. Pobedin, A.V. Raschyotnye issledovaniya dlya sovershenstvovaniya podveski kabiny avtomobilya / A.V. Pobedin, V.V. SHEkhovcov, K.V. SHEkhovcov // Kakoj avtomobil nuzhen Rossii?: mater. 69-j mezhdunar. nauch. tekhn. konf. Assotsiatsii avtomobilnyh inzhenerov (AAI) / GOU VPO "Sibirskaya gos. avtomob.-dor. akademiya (SibADI)" [i dr.]. – Omsk, 2010. – С. 112-117.
7. Analiz i klassifikaciya tekhnicheskikh reshenij vibroizolyatorov podveski kabiny / V.V. SHEkhovcov, A.V. Pobedin, O.D. Kosov, K.V. SHEkhovcov // Proektirovanie kolyosnyh mashin: mater. vseros. nauch.-tekhn. konf., posvyashch. 100-letiyu nachala podgot. inzh. po avtomobilnoj specialnosti v MGTU im. N.E. Baumana (25-26 dek. 2009 g.) / GOU VPO "MGTU im. N.E. Baumana". – M., 2010. – С. 181-184.
8. SHEkhovcov, K.V. Vibration Isolators`s Laboratory Testing Plant / K.V. SHEkhovcov, A.V. Pobedin, O.D. Kosov // 30th Anniversary Seminar of the Students` Association for Mechanical Engineering (11-13.05.2011, Warsaw, Poland): book of Abstracts / Military University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering. – Warsaw, 2011. – S. 66-67. – Angl.
9. SHEkhovcov, V.V. Tekhnicheskije resheniya uprugo-dempfiruyushchih ustrojstv podveski kabiny traktora / V.V. SHEkhovcov, M.V. Lyashenko, V.P. SHEvchuk, N.S. Sokolov-Dobrev, K.V. SHEkhovcov // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal = Research Journal of International Studies.– 2013. – № 7-2. – S. 122-125.
10. P. m. 124340 RF, MPK F16F3/093, F16F1/373. Vibroizolyator / V.V. SHEkhovcov, A.V. Pobedin, V.P. SHEvchuk, O.D. Kosov, M.V. Lyashenko, K.V. SHEkhovcov; GOU VPO "Volgogr. gos. tekhn. un-t". – 2013.

Busalaeв Dmitriy Viktorovich
phone number 8-919-541-08-72,
busalaeв_adres@mail.ru

Liashenko Mikhail Volfredovich
doctor in technical science, professor,
professor of «Technical operation and
repair of cars» department, Volgograd
state technical university, 400005, RF,
Volgograd, Lenin ave. 28,
tel. (8442) 24-81-62,
tslmv@vstu.ru

Shekhovtsov Viktor Viktorovich
doctor in technical science, professor,
professor of «Technical operation and
repair of cars» department, Volgograd
state technical university, 400005, RF,
Volgograd, Lenin ave. 28,
tel. (8442) 24-81-62,
shehovtsov@vstu.ru

Potapov Pavel Viktorovich
candidate of technical science,
docent at «Technical operation
and repair of cars» department,
Volgograd state technical
university, 400005, RF,
Volgograd, Lenin ave. 28,
tel. (8442) 24-81-62,
pvicpotapov@gmail.com

Morskov Maksim Vladimirovich
student at Volgograd State Technical
University, 400005, RF, Volgograd,
Lenin ave.,28,
phone (8442) 24-81-62,
shehovtsov@vstu.ru

Klementiev Evgeniy Vladimirovich
postgraduate student Volgograd State
Technical University, 400005, RF,
Volgograd, Lenin ave.,28,
phone (8442) 24-81-62,
e-eevgenii@mail.ru

Д.В. БУСАЛАЕВ, М.В. ЛЯШЕНКО, В.В. ШЕХОВЦОВ,
П.В. ПОТАПОВ, М.В. МОРСКОВ, Е.В. КЛЕМЕНТЬЕВ

СТОЙКА ПЕРЕДНЕЙ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЯ С УЛУЧШЕНИЕМ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАВНОСТИ ХОДА И ВИБРОЗАЩИТЫ

Аннотация. В статье приводится подробное описание предложенных авторами технических решений устройств крепления пружинной стойки передней подвески легкового автомобиля. Производителями отечественных легковых автомобилей создано множество конструкций пружинной стойки передней подвески, однако каждая из них не свободна от недостатков. В частности, не на каждом режиме движения автомобиля подвеской обеспечиваются комфортные условия для пассажиров и водителя в салоне, не обеспечивается шумо-виброзащита во всем диапазоне эксплуатационных вибровоздействий со стороны ходовой системы. Также не каждая подвеска полностью обеспечивает плавность хода автомобиля на всех режимах движения. Устойчивость движения автомобиля и хорошая управляемость во время самых критичных режимов движения также не всегда обеспечиваются. Авторами статьи предложено несколько технических решений крепления стойки передней пружинной подвески легкового автомобиля, направленных на устранение части перечисленных недостатков. В частности, первое техническое решение направлено на улучшение вибро- и шумоизолирующих свойств устройства крепления пружинной стойки подвески автомобиля при одновременном обеспечении высокой жесткости конструкции в радиальном направлении для улучшения качеств управляемости и устойчивости автомобиля, а также обеспечение возможности установки пружин с различным посадочным диаметром и различной геометрической формы (например, пружин цилиндрической, бочкообразной и конической формы). Второе техническое решение направлено на улучшение управляемости и устойчивости автомобиля при малых углах увода управляемых колес автомобиля, а также повышение вибро- и шумоизолирующих свойств подвески при гашении низкоамплитудных высокочастотных колебаний.

Ключевые слова: устройство крепления, пружинная стойка подвески, вибро- и шумоизолирующие свойства, жесткость конструкции, управляемость и устойчивость автомобиля, низкоамплитудные высокочастотные колебания, малый угол увода управляемых колес.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ротенберг, Р. В. Подвеска автомобиля. Колебания и плавность хода / Р. В. Ротенберг. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.
2. Deboli, R. Whole-body vibration: Measurement of horizontal and vertical transmissibility of an agricultural tractor seat / R. Deboli, A. Calvo, C. Preti // International Journal of Industrial Ergonomics. – 2017. – Vol. 58. – P. 69-78.
3. Виброзащитные системы с квазиулеевой жесткостью: монография / П. М. Алабужев [и др.]; под ред. К. М. Рагульскаса. – Л.: Машиностроение, 1986. – 96 с.
4. П. м. 177004 Российская Федерация, МПК В 60 N 2/52. Подвеска сиденья транспортного средства / М. В. Ляшенко, В. В. Шеховцов, П. В. Потапов, А. И. Искалиев; ВолгГТУ. - 2018.
5. Ляшенко, М. В. Analysis of vibroprotection characteristics of pneumatic relaxation seat suspension with capability of vibration energy recuperation [Электронный ресурс] / М. В. Ляшенко, П. В. Потапов, А. И. Искалиев // MATEC Web of Conferences. Vol. 129: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017) (Sevastopol, Russia, September 11-15, 2017) / eds.: S. Bratan [et al.]; Sevastopol State University, National University of Science and Technology «MISIS», Polzunov Altai State Technical University, Inlink Ltd. and International Union of Machine Builders. – [Publisher: EDP Sciences], 2017. – 5 p. – URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/43/mateconf_icmtmte2017_06018.pdf.
6. П.м. 100962 РФ, МПК В60G 15/06. Устройство крепления пружинной стойки подвески автомобиля / Д.В. Бусалаев, В.В. Шеховцов, М.В. Ляшенко, К.В. Шеховцов. – 2011.
7. П.м. 136391 РФ, МПК В60G 15/00. Устройство крепления пружинной стойки подвески автомобиля / Д.В. Бусалаев, В.В. Шеховцов, М.В. Ляшенко. – 2014.

Бусалаев Дмитрий Викторович
тел. 8-919-541-08-72,
busalaev_adres@mail.ru

Ляшенко Михаил Вольфредович
доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры
«Техническая эксплуатация и
ремонт автомобилей»
Волгоградского
государственного технического
университета, 400005, РФ, г.
Волгоград, пр-т Ленина, 28,
тел. (8442) 24-81-62,
tslmv@vstu.ru

Шеховцов Виктор Викторович
доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры
«Техническая эксплуатация и
ремонт автомобилей»
Волгоградского государственного
технического университета, 400005,
РФ, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28,
тел. (8442) 24-81-16,
shehovtsov@vstu.ru

Потапов Павел Викторович
доцент кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей» Волгоградского государственного технического университета, 400005, РФ, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28, тел. (8442) 24-81-62, pvicpotapov@gmail.com

Морсков Максим Владимирович
студент Волгоградского государственного технического университета, 400005, РФ, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28, тел. (8442) 24-81-62, shehovtsov@vstu.ru

Клементьев Евгений Владимирович
аспирант кафедры «Транспортные машины и двигатели» Волгоградского государственного технического университета, 400005, РФ, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28, тел. (8442) 24-81-62, slava.merlyak@yandex.ru

D.V. BUSALAEV, M.V. LYASHENKO, V.V. SHEKHOVTSOV, P.V. POTAPOV,
M.V. MORSKOV, E.V. KLEMENTIEV

VEHICLE FRONT SUSPENSION STRUT FOR IMPROVEMENT OF RIDE COMFORT AND VIBRATION PROTECTION CHARACTERISTICS

Abstract. *This article presents the detail description of schemes of the upper mount for car front spring suspension strut. Domestic car manufacturers propose various designs of the front spring suspension strut mounts, but every design has own disadvantages. Particularly suspension doesnt provide high ride comfort for a driver and passengers and also noise and vibration protection in a whole diapason of operational excitations from the chassis. Also, some suspension designs negatively affect on stability and steering of a car in all motion conditions. Authors proposed several schemes of the upper mount for the car front spring suspension strut aimed to solve some of mentioned problems. Specifically, the first scheme provides improvement of vibration and noise protection characteristics of the front spring strut suspension in addition to high stiffness of the strut upper mount for improvement of car stability and steering. Also, this scheme allows installing springs with various external diameter and various types of springs (cylindrical, conical, barrel-shaped form). The second scheme is aimed to improve car steering and stability at small slip angles of car steering wheels and also to improve vibration and noise protection characteristics of suspension in damping of low-amplitude high-frequency vibrations.*

Keywords: *McPherson strut upper mount, McPherson strut, vibration and noise protection, structure stiffness, car steering and stability, low-amplitude high-frequency vibrations, car steering wheels small slip angle.*

BIBLIOGRAPHY

1. Rotenberg, R. V. Podveska avtomobilya. Kolebaniya i plavnost hoda / R. V. Rotenberg. – 3-e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie, 1972. – 392 s.
2. Deboli, R. Whole-body vibration: Measurement of horizontal and vertical transmissibility of an agricultural tractor seat / R. Deboli, A. Calvo, C. Preti // International Journal of Industrial Ergonomics. – 2017. – Vol. 58. – P. 69-78.
3. Vibrozashchitnye sistemy s kvazinulevoj zhestkostyu: monografiya / P. M. Alabuzhev [i dr.]; pod red. K. M. Ragulskisa. – L.: Mashinostroenie, 1986. – 96 s.
4. P. m. 177004 Rossijskaya Federaciya, MPK B 60 N 2/52. Podveska sidenya transportnogo sredstva / M. V. Lyashenko, V. V. Shekhovcov, P. V. Potapov, A. I. Iskaliev; VolgGTU. 2018.
5. Lyashenko, M. V. Analysis of vibroprotection characteristics of pneumatic relaxation seat suspension with capability of vibration energy recuperation [Elektronnyj resurs] / M. V. Lyashenko, P. V. Potapov, A. I. Iskaliev // MATEC Web of Conferences. Vol. 129: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017) (Sevastopol, Russia, September 11-15, 2017) / eds.: S. Bratan [et al.]; Sevastopol State University, National University of Science and Technology «MISIS», Polzunov Altai State Technical University, Inlink Ltd. and International Union of Machine Builders. – [Publisher: EDP Sciences], 2017. – 5 p. – URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/43/mateconf_icmtmte2017_06018.pdf.
6. P.m. 100962 RF, MPK V60G 15/06. Ustrojstvo krepleniya pruzhinnoj stojki podveski avtomobilya / D.V. Busalaev, V.V. Shekhovcov, M.V. Lyashenko, K.V. Shekhovcov. – 2011.
7. P.m. 136391 RF, MPK V60G 15/00. Ustrojstvo krepleniya pruzhinnoj stojki podveski avtomobilya / D.V. Busalaev, V.V. Shekhovcov, M.V. Lyashenko. – 2014.

Busalaev Dmitriy Viktorovich
phone number 8-919-541-08-72, busalaev_adres@mail.ru

Liashenko Mikhail Volfredovich
doctor in technical science, professor, professor of «Technical operation and repair of cars» department, Volgograd state technical university, 400005, RF, Volgograd, Lenin ave. 28, tel. (8442) 24-81-62, tslmv@vstu.ru

Shekhovtsov Viktor Viktorovich
doctor in technical science, professor, professor of «Technical operation and repair of cars» department, Volgograd state technical university, 400005, RF, Volgograd, Lenin ave. 28, tel. (8442) 24-81-62, shehovtsov@vstu.ru

Potapov Pavel Viktorovich
candidate of technical science, docent at «Technical operation and repair of cars» department,

Morskov Maksim Vladimirovich
student at Volgograd State Technical University, 400005, RF, Volgograd, Lenin ave.,28,

Klementiev Evgeniy Vladimirovich
postgraduate student Volgograd State Technical University, 400005, RF, Volgograd, Lenin ave.,28,

А.С. ФЕТИСОВ, М.Г. ЛИТОВЧЕНКО, Д.В. ШУТИН

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРИБОТРОННЫХ ОПОР РОТОРОВ

Аннотация. В работе исследуются вопросы применения генетических алгоритмов для решения задач оптимального параметрического синтеза активных триботронных опор роторов. На основе численной модели гибридного триботронного подшипника был разработан программный модуль, который для заданного набора конструктивных параметров опоры рассчитывает набор ее трибологических и силовых параметров. Соответствующая оптимизационная задача решается посредством генетического алгоритма в многокритериальной вариации. Результаты показывают влияние установленного значения допуска в расчете целевых функций на время и точность решения, поскольку задача требует значительного объема вычислений. Кроме того, предложено также применение усовершенствованной версии генетического алгоритма на основе недоминантной сортировки решений. Сделаны выводы о возможностях и перспективах рассмотренного подхода.

Ключевые слова: триботронные опоры, подшипники скольжение, параметрический синтез, генетический алгоритм, оптимизационные задачи

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00789, <https://rscf.ru/project/22-19-00789/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shuai Deng. Multi-objective optimization configuration of redundant electromagnetic actuators in fault-tolerant control of active magnetic bearing system / Shuai Deng, Xin Cheng, Huachun Wu, Yefa Hu // ISA Transactions. – 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2023.06.015>.
2. Shegbo Li. Theoretical and experimental study of motion suppression and friction reduction of rotor systems with active hybrid fluid-film bearings / Shengbo Li., Changjiang Z., Savin L., Shutin D., Kornaev A., Polyakov R., Zhaobo C. // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2023. – № 182. – P. 109548. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2022.109548>.
3. Sandeep Singh, Rajiv Tiwari. Model based identification of crack and bearing dynamic parameters in flexible rotor systems supported with and auxiliary active magnetic bearing // Mechanism and Machine Theory. – 2018. – № 122. – P. 292-307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2018.01.006>.
4. Yiming Wang. Estimated position correction algorithm of surface-mounted permanent-magnet synchronous motor based on variable gain steepest gradient descent method / Yiming Wang, Lingyan Luo, Qiwei Xu, Xuefeng Zhang, Xiangyi Wang, Miao He // Energy Reports. – 2023. – № 9. – P. 1154-1162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.05.216>.
5. Bolognani Saverio. Distributed Quasi-Newton Method and its Application to the Optimal Reactive Power Flow Problem / Bolognani Saverio, Zampieri Sandro // IFAC Proceedings Volumes. – 2010. – № 43 (19). – P. 305-310. DOI: <https://doi.org/10.3182/20100913-2-FR-4014.00063>.
6. Florencia Lazzari. Optimizing planning and operation of renewable energy communities with genetic algorithms / Florencia Lazzari, Gerard Mor, Jordi Cipriano, Francesc Solsona, Daniel Chemisana, Daniela Guericke // Applied Energy. – 2023. – № 338. – P. 120906. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120906>.
7. Fan Li. A fast surrogate-assisted particle swarm optimization algorithm for computationally expensive problems / Fan Li, Weiming Shen, Xiwen Cai, Liang Gao, G. Gary Wang // Applied Soft Computing. – 2020. – № 92. – P. 106303. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2022.101096>.
8. Shengrui Peng. Scheduling of Offshore Wind Farm Installation using Simulated Annealing / Shengrui Peng, Daniel Rippel, Matthias Becher, Helena Szczerbicka // IFAC PapersOnLine. – 2021. – № 54 (1). – P. 325-300. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.037>.

9. Rodrigues D. A Multi-Objective Artificial Butterfly Optimization Approach for Feature Selection / Rodrigues D., Albuquerque V., Papa J. // Applied Soft Computing. – 2020. – № 94. – P. 106442. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106442>.
10. Xiaoqiang Wen Modeling and performance evaluation of wind turbine based on ant colony optimization-extreme learning machine // Applied Soft Computing. – 2020. – № 94. – P. 106476. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106476>.
11. Javed M. Performance comparison of heuristic algorithms for optimization of hybrid off-grid renewable energy systems / Javed M., Ma T., Jurasz J., Ahmed S., Mikulik J. // Energy. – 2020. – № 210. – P. 118599. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118599>.
12. Zhang J., Talke F. E. Optimization of slider air bearing contours using the combined genetic algorithm-subregion approach // Tribology International - TRIBOL INT. – 2005. – № 38. – P. 566-573. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2005.01.013>.
13. Saruhan Hamit. Optimum design of rotor-bearing system stability performance comparing an evolutionary algorithm versus a conventional method // International Journal of Mechanical Sciences. – 2006. – № 48. – P. 1341-1351. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2006.07.009>.
14. Codrignani A. Optimization of surface textures in hydrodynamic lubrication through the adjoint method / Codrignani A., Savio D., Pastewka L., Frohnapfel B., Ostayen R // Tribology International. – 2020. – №148. – P. 106352. DOI: [10.1016/j.triboint.2020.106352](https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106352).
15. Guo Caiping. Optimal Design of Sliding Bearings Based on Artificial Intelligence Algorithm and CFD Simulation // Wireless Communications and Mobile Computing. – 2022. DOI: [10.1155/2022/5448332](https://doi.org/10.1155/2022/5448332).
16. Гарагулова А. Comparative analysis of MOGA and NSGA-II on the case study of optimization for the profile of the hydraulic turbine runner / Гарагулова А., Горбачева Д., Chirkov D. // Вычислительные технологии. – 2018. – № 23. – P. 21-36. DOI: [10.25743/ICT.2018.23.5.003](https://doi.org/10.25743/ICT.2018.23.5.003).
17. Dmochowski W. M. Finite Difference Method for Fluid-Film Bearings / Dmochowski W. M., Dadouche A., Fillon M. // Encyclopedia of Tribology. – 2013. – P. 1137–1143.
18. San Andres L. Notes 14. Experimental identification of bearing force coefficients [Электронный ресурс]. – 2009. <https://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/93254>. Accessed 09/01/2022.
19. Shutin D., Polyakov R. Adaptive nonlinear controller of rotor position in active hybrid bearings. – 2016. – P. 1-6. DOI: [10.1109/ICIEAM.2016.7910935](https://doi.org/10.1109/ICIEAM.2016.7910935).
20. Jensen K. M., Santos I. F. Design of actively-controlled oil lubrication to reduce rotor-bearing-foundation coupled vibrations - theory & experiment // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology. – 2022. – № 236 (8). DOI: [10.1177/13506501221100615](https://doi.org/10.1177/13506501221100615).
21. Mattox D. Encyclopedia of Tribology / Mattox D., Wang Q., Chung Y. // Encycl. Tribol. – 2013. – P. 2717-2726. DOI: [10.1007/978-0-387-92897-5_685](https://doi.org/10.1007/978-0-387-92897-5_685).
22. Айзерман М. А., Алескеров Ф. Т. Выбор вариантов. Основы теории // Наука. – М. – 1990. – 240 С.

Фетисов Александр Сергеевич
 ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
 Младший научный сотрудник
 НОЦ Интеллектуальных технологий мониторинга и диагностики энергогенерирующего оборудования
 302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
 E-mail: fetisov57rus@mail.ru

Шутин Денис Владимирович
 ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
 Научный сотрудник НОЦ Интеллектуальных технологий мониторинга и диагностики энергогенерирующего оборудования
 302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
 E-mail: rover@gmail.ru

Литовченко Максим Геннадиевич
 ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
 студент кафедры мехатроники, механики и робототехники,
 302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
 E-mail: yamaks123@bk.ru

A.S. FETISOV, M.G. LITOVCHENKO, D.V. SHUTIN

GENETIC ALGORITHMS FOR THE OPTIMAL DESIGN OF TRIBOTRON ROTOR BEARINGS

Abstract. *The paper presents the application of genetic algorithms for solving problems of optimal parametric synthesis of active tribotron rotor bearings. On the basis of a numerical model of a hybrid tribotron bearing, a software module was developed that, for a given set of bearing design parameters, calculates a set of its tribological and power parameters. The corresponding optimization problem is solved by means of a genetic algorithm in multicriteria variation. The results show the influence of the set tolerance value in the calculation of objective functions on the time and accuracy of the solution, since the task requires a significant amount of calculations. In addition, the use of an improved version of the genetic algorithm based on non-dominant sorting of solutions is also proposed. Conclusions are drawn about the possibilities and prospects of the considered approach.*

Keywords: *tribotron bearings, plain bearings, parametric synthesis, genetic algorithm, optimization problems.*

BIBLIOGRAPHY

1. Shuai Deng. Multi-objective optimization configuration of redundant electromagnetic actuators in fault-tolerant control of active magnetic bearing system / Shuai Deng, Xin Cheng, Huachun Wu, Yefa Hu // *ISA Transactions*. – 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2023.06.015>.
2. Shegbo Li. Theoretical and experimental study of motion suppression and friction reduction of rotor systems with active hybrid fluid-film bearings / Shengbo L., Changjiang Z., Savin L., Shutin D., Kornaev A., Polyakov R., Zhaobo C. // *Mechanical Systems and Signal Processing*. – 2023. – № 182. – P. 109548. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2022.109548>.
3. Sandeep Singh, Rajiv Tiwari. Model based identification of crack and bearing dynamic parameters in flexible rotor systems supported with and auxiliary active magnetic bearing // *Mechanism and Machine Theory*. – 2018. – № 122. – P. 292-307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2018.01.006>.
4. Yiming Wang. Estimated position correction algorithm of surface-mounted permanent-magnet synchronous motor based on variable gain steepest gradient descent method / Yiming Wang, Lingyan Luo, Qiwei Xu, Xuefeng Zhang, Xiangyi Wang, Miao He // *Energy Reports*. – 2023. – № 9. – P. 1154-1162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.05.216>.
5. Bolognani Saverio. Distributed Quasi-Newton Method and its Application to the Optimal Reactive Power Flow Problem / Bolognani Saverio, Zampieri Sandro // *IFAC Proceedings Volumes*. – 2010. – № 43 (19). – P. 305-310. DOI: <https://doi.org/10.3182/20100913-2-FR-4014.00063>.
6. Florencia Lazzari. Optimizing planning and operation of renewable energy communities with genetic algorithms / Florencia Lazzari, Gerard Mor, Jordi Cipriano, Francesc Solsona, Daniel Chemisana, Daniela Guericke // *Applied Energy*. – 2023. – № 338. – P. 120906. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120906>.
7. Fan Li. A fast surrogate-assisted particle swarm optimization algorithm for computationally expensive problems / Fan Li, Weiming Shen, Xiwen Cai, Liang Gao, G. Gary Wang // *Applied Soft Computing*. – 2020. – № 92. – P. 106303. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2022.101096>.
8. Shengrui Peng. Scheduling of Offshore Wind Farm Installation using Simulated Annealing / Shengrui Peng, Daniel Rippel, Matthias Becher, Helena Szczerbicka // *IFAC PapersOnLine*. – 2021. – № 54 (1). – P. 325-300. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.037>.
9. Rodrigues D. A Multi-Objective Artificial Butterfly Optimization Approach for Feature Selection / Rodrigues D., Albuquerque V., Papa J. // *Applied Soft Computing*. – 2020. – № 94. – P. 106442. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106442>.
10. Xiaoqiang Wen. Modeling and performance evaluation of wind turbine based on ant colony optimization-extreme learning machine // *Applied Soft Computing*. – 2020. – № 94. – P. 106476. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106476>.
11. Javed M. Performance comparison of heuristic algorithms for optimization of hybrid off-grid renewable energy systems / Javed M., Ma T., Jurasz J., Ahmed S., Mikulik J. // *Energy*. – 2020. – № 210. – P. 118599. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118599>.
12. Zhang J., Talke F. E. Optimization of slider air bearing contours using the combined genetic algorithm-subregion approach // *Tribology International - TRIBOL INT*. – 2005. – № 38. – P. 566-573. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2005.01.013>.
13. Saruhan Hamit. Optimum design of rotor-bearing system stability performance comparing an evolutionary algorithm versus a conventional method // *International Journal of Mechanical Sciences*. – 2006. – № 48. – P. 1341-1351. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2006.07.009>.
14. Codrignani A. Optimization of surface textures in hydrodynamic lubrication through the adjoint method / Codrignani A., Savio D., Pastewka L., Frohnapfel B., Ostayen R // *Tribology International*. – 2020. – № 148. – P. 106352. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106352>.
15. Guo Caiping. Optimal Design of Sliding Bearings Based on Artificial Intelligence Algorithm and CFD Simulation // *Wireless Communications and Mobile Computing*. – 2022. DOI: [10.1155/2022/5448332](https://doi.org/10.1155/2022/5448332).
16. Garagulova A. Comparative analysis of MOGA and NSGA-II on the case study of optimization for the profile of the hydraulic turbine runner / Garagulova A., Gorbacheva D., Chirkov D. // *Vichislitelnye tekhnologii*. – 2018. – № 23. – P. 21-36. DOI: [10.25743/ICT.2018.23.5.003](https://doi.org/10.25743/ICT.2018.23.5.003).
17. Dmochowski W. M. Finite Difference Method for Fluid-Film Bearings / Dmochowski W. M., Dadouche A., Fillon M. // *Encyclopedia of Tribology*. – 2013. – P. 1137–1143.
18. San Andres L. Notes 14. Experimental identification of bearing force coefficients [Электронный ресурс]. – 2009. <https://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/93254>. Accessed 09/01/2022.
19. Shutin D., Polyakov R. Adaptive nonlinear controller of rotor position in active hybrid bearings. – 2016. – P. 1-6. DOI: [10.1109/ICIEAM.2016.7910935](https://doi.org/10.1109/ICIEAM.2016.7910935).
20. Jensen K. M., Santos I. F. Design of actively-controlled oil lubrication to reduce rotor-bearing-foundation coupled vibrations - theory & experiment // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*. – 2022. – № 236 (8). DOI: [10.1177/13506501221100615](https://doi.org/10.1177/13506501221100615).

21. Mattox D. Encyclopedia of Tribology / Mattox D., Wang Q., Chung Y. // Encycl. Tribol. – 2013. – P. 2717-2726. DOI: 10.1007/978-0-387-92897-5_685.

22. Ajzerman M. A., Aleskerov F. T. Vybor variantov. Osnovy teorii. (Choice of options. Fundamentals of theory.) // Nauka. – М. – 1990. – 240 P.

Fetisov Aleksandr Sergeevich
Orel State University named after
I.S. Turgenev, assistant of the
department mechatronics,
mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe
Shosse, 29
E-mail: fetisov57rus@mail.ru

Shutin Denis Vladimirovich
Orel State University named after I.S.
Turgenev
Associate Professor of the department
of mechatronics, mechanics and
robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: rover@gmail.ru

Litovchenko Maksim Gennadievich
Orel State University named after I.S.
Turgenev
department mechatronics, mechanics
and robotics, student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: yamaks123@bk.ru

© А.С. Фетисов, М.Г. Литовченко, Д.В. Шутин, 2023

УДК 621.923

DOI: 10.33979/2073-7408-2023-360-4-240-247

А.В. НЕМЕНКО, М.М. НИКИТИН

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ АСФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Аннотация. В работе рассмотрена задача оптимизации параметров технологического процесса, приводящего к получению изделия с заданной поверхностью вращения второго порядка по критерию их минимального количества, которое требуется изменить при изготовлении новой поверхности того же класса. Исходной поверхностью, которая при обработке преобразуется в поверхность заданного вида, может быть также центральная поверхность вращения второго порядка, в частности сферическая, плоскость, либо произвольная поверхность некоторого класса. Рассмотрен случай обработки детали в неподвижных осях гибким профилированным диском со связанным абразивом. Получены соотношения между параметрами технологического процесса: давлением, интенсивностью съёма материала и угловой скоростью инструмента, позволяющие получить симметричный профиль.

Ключевые слова: финишная обработка, связанный абразив, параболоид, гиперболоид, эллипсоид, поверхность второго порядка, обработка в неподвижных осях

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. Макаров В.Ф. Выбор абразивных инструментов и режимов для высокоэффективного шлифования заготовок/ В.Ф. Макаров – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2011. – 231 с.
4. Новосёлов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке/ Ю.К. Новосёлов – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2012. - 304 с.
5. Jackson M. Machining With Abrasives/ M. Jackson, M. Hitchiner, J.Davim – Springer, 2011 - 423 p.
6. Ван-дер-Варден Б.Л. Алгебра. /Б. Л. Ван-дер-Варден – М.:Мир, 1976. – 648 с.
7. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов/И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев - С-Пб: Лань, 2010. – 608 с.
8. 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.
9. 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.
10. 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.

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

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 SECOND ORDER SURFACE TECHNOLOGICAL PROCESS

Abstract. *We consider the problem of optimizing the parameters of the technological process, leading to obtaining a given central surface of rotation of the second order on the product according to the criterion of their minimum number, which needs to be changed when manufacturing a new surface of the same class. The initial surface, which during processing is transformed into a surface of a given type, can also be a central surface of rotation of the second order, in particular, a spherical one, a plane, or an arbitrary surface of a certain class. The case of processing a part in fixed axes with a flexible profiled disk with a bonded abrasive is considered. Relationships between the parameters of the technological process are obtained: pressure, intensity of material removal and the angular velocity of the tool, which make it possible to obtain a symmetrical profile.*

Keywords: *finishing, fixed abrasive, paraboloid, hyperboloid, ellipsoid, second order surface, machining with fixed axis*

BIBLIOGRAPHY

1. Kashirin V.I. Osnovy formoobrazovaniya opticheskikh poverhnostej: kurs lekcij / V.I. Kashirin// Ekaterinburg: GOU VPO UGTU – UPI, 2006.
2. D.Malacara. Optical shop testing. John Wiley & Sons, 2017 - 855 p.
3. Makarov V.F. Vybor abrazivnyh instrumentov i rezhimov dlja vysokojeffektivnogo shlifovaniya zagotovok/ V.F. Makarov – Perm: Permskij nacionalnyj issledovatel'skij politehnicheskij universitet, 2011. – 231 s.
4. Novosjolov Ju.K. Dinamika formoobrazovaniya poverhnostej pri abrazivnoj obrabotke/ Ju.K. Novosjolov – Sevastopol: Izd-vo SevNTU, 2012. - 304 s.
5. Jackson M. Machining With Abrasives/ M. Jackson, M. Hitchiner, J.Davim – Springer, 2011 - 423 p.
6. Van-der-Varden B.L. Algebra. /B. L. Van-der-Varden – M.:Mir, 1976. – 648 s.
7. Bronshtejn I.N. Spravochnik po matematike dlja inzhenerov i uchashhihsja vtuzov/I.N. Bronshtejn, K.A. Semendjaev - S-Pb: Lan, 2010. – 608 s.
8. Nemenko A.V. Upravlenie processom poluchenija poverhnostej vtorogo porjadka pri finishnoj obrabotke/A.V. Nemenko, M.M. Nikitin//Fundamentalnye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii, 2020, №4(342),S.52 – 58.
9. Nemenko A.V. Upravlenie finishnoj obrabotkoj krivolinejnoj poverhnosti po kriteriju geometricheskogo sootvetstvija/A.V. Nemenko, M.M. Nikitin//Fundamentalnye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii, 2019, №4-1(336),s.191 - 196.
10. Nemenko A.V. Linejnaja rekonstrukcija polozhenija kontroliruemogo ob#ekta/A.V. Nemenko, M.M. Nikitin//Fundamentalnye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii, 2020, №4-2(342), S.136 – 140.

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

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

© А.В. Неменко, М.М. Никитин, 2023

Адрес издателя:

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

Адрес редакции:

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

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

Материалы статей печатаются в авторской редакции

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

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

Подписано в печать 20.08.2023 г.
Дата выхода в свет 05.09.2023 г.
Формат 70X108/16. Усл. печ. л. 15,5
Цена свободная. Тираж 1000 экз.
Заказ № 193

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