

Редакция

Главный редактор

Радченко С.Ю. д-р техн. наук, проф.

Заместители главного редактора:

Барсуков Г.В. д-р техн. наук, проф.

Гордон В.А. д-р техн. наук, проф.

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

Савин Л.А. 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)

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

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

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

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

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

Копылов Ю.Р. 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)

Мулюкин О.П. д-р техн. наук, проф. (Россия)

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

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

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

Распопов В.Я. 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 секретарь:

Тюхтя А.В. канд. техн. наук

Адрес редакции

302030, г. Орел, ул. Московская, 34

+7(920)2806645, +7(906)6639898

http://oreluniver.ru

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»

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2020

Содержание

Теоретическая механика и ее приложения

Гоголев Г.В. Повышение надежности работы системы регулирования частоты вращения судовых двигателей Каммингс	3
Тукмаков Д.А. Численное моделирование распространения ударной волны из газа в электрически заряженную и нейтральную газовзвеси в плоском канале	9

Механика деформируемого твердого тела, динамика и прочность

Попов И.П. Мультиинертный колебательный механизм	19
--	----

Машиностроительные технологии и оборудование

Эдигаров В.Р. Технология комбинированной электромеханоультразвуковой обработки поверхностных слоев деталей машин	26
Радченко С.Ю., Голенков В.А., Дорохов Д.О. Управляемое формирование заданных механических свойств деталей машин деформационным упрочнением в условиях комплексного локального нагружения очага деформации	34
Сережкин М.А., Андреева Д.В., Глазунов С.Н. Исследование процесса многослойной электродуговой наплавки с применением ферромагнитной шихты для восстановления деталей ходовой части экскаваторов	43
Селеменова Е.М., Черепенько А.А., Ткаченко А.Н., Фроленкова Л.Ю. Математическая модель сложнопровильных рабочих поверхностей	50
Барсуков Г.В., Шоркин В.С., Кожус О.Г., Журавлева Т.А. Расчет контакта композитного абразива со стенками сопла, обеспечивающий снижение износа фокусирующей трубки гидроабразивной установки	62
Кудрявцев С.В., Тарапанов А.С., Золкин Д.О. Определение температуры процесса развертывания в режиме реального времени	68
Ткаченко А.Н., Селеменова Е.М., Шамрин А.В., Черепенько А.А., Фроленкова Л.Ю. Математическая модель определения шероховатости поверхности электротехнических деталей из меди обработанных комбинированным инструментом	73
Канатников Н.В., Канатникова П.А., Паишментова А.С. Методика расчета силы резания возникающей при обработке резанием незвольвентных зубчатых колес на основе виртуальных экспериментальных исследований	80

Машиноведение и мехатроника

Безмен П.А. Расширенный фильтр Калмана, дополненный адаптивным цифровым фильтром, для комплексирования данных системы управления мобильным роботом	85
Савин С.И., Ворочаева Л.Ю. Метод управления двуногими шагающими роботами с интегрированными упругими элементами	95
Бондаренко М.Э., Фетисов А.С., Попов С.Г., Торин В.О. Информационно-измерительная система и система управления подшипникового узла с магнитореологической смазкой	104
Родичев А.Ю., Паничкин А.В., Грядунова Е.Н., Токмакова М.А. Теоретические основы расчета сил инерции при нанесении покрытия на внешнюю поверхность тел вращения	109
Прокопов Е.Е., Горин А.В., Просекова А.В., Токмаков Н.В. Система виброзащиты с упругим звеном прерывистого действия, конструктивные решения и их опробования	114
Грищенко Н.Е., Поляков Р.Н. Обзор конструкций подшипников скольжения с регулируемыми характеристиками: сравнительный анализ и возможности применения	121

Приборы, биотехнические системы и технологии

Марков В.В., Подмастерьев К.В. Стенд контроля показателей качества прямоугольных электрических соединителей	126
Марков О.И. Моделирование влияния теплообмена на эффективность термоэлектрического охладителя	132
Дрёмин В.В., Жарких Е.В. Математическое моделирование взаимодействия поляризованного света с биологическими тканями	136

Контроль, диагностика, испытания и управление качеством

Шитиков А.Н., Сапронов С.В. Рекомендации по актуализации документов по стандартизации систем пожарной безопасности	148
Гусеница Я.Н., Ржавитин В.Л., Шерстобитов С.А. К вопросу оценивания критичности элементов эргатической системы	157

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.

Savin L.A. 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)

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)

Kopylov Yu.R. 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 Shenbo. Cand. Sc. Tech., Assist. Prof. (China)

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

Mulyukin O.P. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Executive secretary:

Tyukhta A.V. Candidate Sc. Tech.

Address

302030 Orel, Moskovskaya ul., 34
+7(920)2806645, +7(906)6639898
http://oreluniver.ru

E-mail: radsu@rambler.ru

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

Index on the catalogue of the «Pressa Rossii» 29504

© Orel State University, 2020

Contents

Theoretical mechanics and its applications

Gogolev G.V. Increased operation's reliability of the «Cummins» marine engine speed control system	3
Tukmakov D.A. Numerical simulation of the propagation of a gas shock wave in electrically charged and neutral gas suspension in a flat channel	9

Mechanics of deformable solids, dynamics and strength

Popov I.P. Multi-inert oscillatory mechanism	19
--	----

Machine-building technologies and equipment

Edigarov V.R. Technology of combined electromechanoultrasonic treatment of surface layers of machine parts	26
Radchenko S.Yu., Golenkov V.A., Dorokhov D.O. Controlled formation of the designed mechanical properties of machine parts by deformation hardening in the conditions of complex local loading of the deformation zone	34
Serezhkin M.A., Andreeva D.V., Glazunov S.N. Restoration of cams of the driving wheel an excavator EKG-5A by multi-layer electric arc welding using ferromagnetic charge	43
Selemenova E.M., Cherepenko A.A., Tkachenko A.N., Frolenkova L.Yu. Mathematical model of non-equilibrium of complex profile working surfaces	50
Barsukov G.V., Shorkin V.S., Kozhus O.G., Zhuravleva T.A. Calculation of contact of composite abrasive with nozzle walls, ensuring reducing the wear of the focusing tube of an abrasive waterjet installation	62
Kudryavtsev S.V., Tarapanov A.S., Zolkin D.O. Determination of temperature of the deployment process in real time	68
Tkachenko A.N., Selemenova E.M., Shamrin A.V., Cherepenko A.A., Frolenkova L.Yu. Mathematical model for determining the surface roughness of electrotechnical details from copper processed by combined tool	73
Kanatnikov N.V., Kanatnikova P.A., Pashmentova A.S. The method of calculation of the cutting forces by machining non-involute gears on the basis of virtual experimental researches	80

Machine Science and Mechatronics

Bezmen P.A. The extended Kalman filter augmented by an adaptive digital filter for data fusion of a mobile robot control system	85
Savin S.I., Vorochaeva L.Yu. Control method for bipedal robots with integrated elastic elements	95
Bondarenko M.E., Fetisov A.S., Popov S.G., Tyurin V.O. Information-measurement system and control system of the bearing unit with magnetoreological fluid	104
Rodichev A.Yu., Panichkin A.V., Griadynova E.N., Tokmakova V.A. Theoretical bases of calculation forces inertia when drawing a cover on an external surfacebody of rotation	109
Prokopov E.E., Gorin A.V., Prosekova A.V., Tokmakov N.V. Vibration protection system with an elastic interference ring constructive solutions and their testing	114
Grishchenko N.E., Polyakov R.N. An overview of adjustable bearing designs: comparative analysis and applications	121

Devices, biotechnical systems and technologies

Markov V.V., Podmasteryev K.V. Quality control stand for rectangular electricconnectors	126
Markov O.I. Modeling the effect of heat exchange on the efficiency of a thermoelectric cooler	132
Dremin V.V., Zharkikh E.V. Modeling of the interaction of polarized light with biological tissues	136

Monitoring, Diagnostics, Testing and Quality Management

Shitikov A.N., Sapronov S.V. Recommendations for updating documents on standardization fire safety systems	148
Gusenitsa Ya.N., Rzhavitin V.L., Sherstobitov S.A. To the question of evaluating criticality of elements of ergatic system	157

Г.В. ГОГОЛЕВ

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ КАММИНГС

Аннотация. *Выполнен анализ возможности применения охлаждающих устройств на основе двухфазных термосифонов в системах регулирования частоты вращения судовых дизельных двигателей Каммингс.*

Ключевые слова: *регулирование частоты вращения, судовая электростанция, электронный регулятор, охлаждение, актуатор, тепловые трубы, двухфазные термосифоны, безопасность эксплуатации.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чи С. Тепловые трубы. Теория и практика. – М.: Машиностроение 1981 – 207 с.
2. Безродный М.К., Пиоро И.Л., Костюк Т.О. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах: Монография. – К.: Факт, 2003. – 480 с.
3. Кутателадзе С.С., Стырикович М.А. Гидродинамика газожидкостных систем. – М.: Энергия, 1975. – 296 с.

Гоголев Геннадий Вениаминович

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
кандидат технических наук, доцент кафедры энергоустановки морских судов и сооружений
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел.: +79787817383
E-mail: ggogolevsgu@mail.ru

G.V. GOGOLEV

INCREASED OPERATIONS RELIABILITY OF THE «CUMMINS» MARINE ENGINE SPEED CONTROL SYSTEM

Abstract. *The analysis of using cooling devices possibility on the basis of two-phase thermal siphons in «Cummins» marine diesel engine speed control systems is carried out.*

Keywords: *speed control, marine power station, electronic adjuster, cooling, actuator, heat pipes, two-phase thermal siphons, maintenance safety.*

BIBLIOGRAPHY

1. Chee S. Heat pipes. Theory and practice. – M.: Engineering 1981 – 207 p.
2. Bezrodniy M.K., Pioro I.L., Kostyuk T.O. Transfer processes in two-phase thermal siphons systems: Monograph. – K.: Fact, 2003. – 480 p.
3. Kutateladze S.S., Styrikovich M.A. Hydrodynamics of gas-liquid systems. – M.: Energy, 1975. – 296 p.

Gogolev Gennadiy Veniaminovich

Sevastopol State University,
PhD, Associate Professor of the Department «Ship power plants and structures»,
Sevastopol, Universitetskaya, 33
Tel. +79787817383
E-mail: ggogolevsgu@mail.ru

Д.А. ТУКМАКОВ

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ИЗ ГАЗА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИ ЗАРЯЖЕННУЮ И НЕЙТРАЛЬНУЮ ГАЗОВЗВЕСИ В ПЛОСКОМ КАНАЛЕ

Аннотация. В данной работе рассматривается распространение ударной волны из чистого газа в гетерогенную смесь, состоящую из твердых частиц, взвешенных в газе и имеющих электрический заряд. Применяемая математическая модель учитывает скоростное и тепловое взаимодействие несущей и дисперсной компонент смеси. Силовое взаимодействие частиц и газа описывалось силой Стокса. Несущая среда описывалась как вязкий сжимаемый теплопроводный газ. Уравнения математической модели решались явным конечно-разностным методом второго порядка точности, с применением схемы нелинейной коррекции сеточной функции. Система уравнений математической модели дополнялась граничными и начальными условиями для искомых функций. В результате численного моделирования было выявлено, что в электрически заряженной газовой взвеси наблюдается отличие в давлении и скорости газа, «средней плотности» и скорости дисперсной компоненты, в сравнении с аналогичными величинами в газовой взвеси с электрически нейтральной дисперсной компонентой. Выявленные отличия в динамике нейтральной и электрически заряженной запыленных сред можно объяснить тем, что дисперсная компонента электрически заряженной газовой взвеси испытывает на себе воздействие как силы аэродинамического сопротивления, так и силы Кулона. Вследствие межфазного взаимодействия происходит изменение параметров динамики несущей среды.

Ключевые слова: многофазные среды, межфазное взаимодействие, ударные волны, уравнение Навье–Стокса, электрогидродинамика.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ Грант № 19–01–00442.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нигматулин, Р.И. Динамика многофазных сред. / Р.И. Нигматулин Ч.1 Наука, 1987. 464с.
2. Кутушев, А.Г. Математическое моделирование волновых процессов в аэродисперсных и порошкообразных средах. /А.Г. Кутушев СПб.: Недра, 2003, 284 с.
3. Федоров, А.В. Волновые процессы в газовых взвешах частиц металлов. / А.В. Федоров, В.М. Фомин, Т.А. Хмель Новосибирск, 2015. 301 с.
4. Садин, Д.В. TVD–схема для жестких задач волновой динамики гетерогенных сред негиперболического неконсервативного типа//Д.В. Садин/ Журнал вычислительной математики и математической физики. 2016. Т. 56. № 12. С. 2098–2109.
5. Вараксин, А.Ю. Кластеризация частиц в турбулентных и вихревых двухфазных потоках//А.Ю. Вараксин/Теплофизика высоких температур. 2014. Т. 52. № 5. С. 777–796.
6. Глазунов, А.А. Численное исследование течения ультрадисперсных частиц оксида алюминия в сопле ракетного двигателя твердого топлива. // А.А. Глазунов, Н.Н. Дьяченко, Л.И. Дьяченко / Теплофизика и аэромеханика, 2013, №1. С. 81–88.
7. Zhuoqing, A. Correlating the apparent viscosity with gas–solid suspension flow in straight pipelines// A. Zhuoqing, Z. Jesse / Powder Technology, Volume 345, 1 March 2019, P. 346–351.
8. Губайдуллин, Д.А. Численное исследование эволюции ударной волны в газовой взвеси с учетом неравномерного распределения частиц// Д.А. Губайдуллин, Д.А. Тукмаков / Математическое моделирование. 2014, Т.26, №10. С.109–119.
9. Нигматулин, Р.И. Ударно–волновой разлет газовой взвеси // Р.И. Нигматулин, Д.А. Губайдуллин, Д.А. Тукмаков /Доклады академии наук, 2016, том 466, № 4, С. 418–421.
10. Губайдуллин, Д.А. Влияние свойств дисперсной фазы на характеристики ударной волны при прохождении прямого скачка уплотнения из чистого газа в газовую взвесь // Д.А. Губайдуллин, Д.А. Тукмаков / Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2017. № 3. С. 128–132.
11. Тукмаков, Д.А. Теоретическое исследование релаксации интенсивности скачка давления на фронте ударной волны в газовой взвеси //Д.А. Тукмаков / Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2019, № 3, С.3–11.
12. Tada, Y., Heat transfer enhancement in a gas–solid suspension flow by applying electric field// Y. Tada, S. Yoshioka, A. Takimoto, Y. Hayashi / International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 93, February 2016, P. 778–787.
13. Зинченко, С.П., Толмачёв Г.Н. О накоплении продуктов распыления сегнетоэлектрической мишени в плазме тлеющего высокочастотного разряда // С.П. Зинченко, Г.Н. Толмачёв / Прикладная физика. 2012. № 5. С. 53–56.
14. Дикалюк, А.С., Суржиков С.Т. Численное моделирование разреженной пылевой плазмы в нормальном тлеющем разряде// А.С. Дикалюк, С.Т. Суржиков / Теплофизика высоких температур, 2012, том 50, № 5, С. 611–619.
15. Панюшкин, В.В., Пашин М.М. Измерение заряда порошка, наносимого распылителями с внешней зарядкой // В.В. Панюшкин, М.М. Пашин / Лакокрасочные материалы и их применение, 1984, № 2.С. 25–27.
16. Сальянов, Ф.А. Основы физики низкотемпературной плазмы, плазменных аппаратов и технологий. /Ф.А. Сальянов М.:Наука, 1997.240 с.

17. Тукмаков, А.Л. Численное моделирование акустических течений при резонансных колебаниях газа в закрытой трубе // А.Л. Тукмаков / Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2006. № 4. С. 33–36.
18. Fletcher, C.A. Computation Techniques for Fluid Dynamics. / C.A. Fletcher Springer-Verlag: Berlin, 1988, 502 P.
19. Музафаров, И.Ф., Утюжников С.В. Применение компактных разностных схем к исследованию нестационарных течений сжимаемого газа // И.Ф. Музафаров, С.В., Утюжников / Математическое моделирование, 1993, т.5, №3, С.74–83.
20. Крылов, В.И. Вычислительные методы. / В.И. Крылов, В.В. Бобков, П.И. Монастырный Т.2, М.: «Наука», 1977, 401 с.

Тукмаков Дмитрий Алексеевич

Институт механики и машиностроения – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук».

кандидат физико-математических наук, научный сотрудник

Адрес: 420111, г. Казань, ул. Лобачевского, д. 2/31

Телефон: (843)292–76–14

e-mail: tukmakovDA@imm.knc.ru

D.A. TUKMAKOV

NUMERICAL SIMULATION OF THE PROPAGATION OF A GAS SHOCK WAVE IN ELECTRICALLY CHARGED AND NEUTRAL GAS SUSPENSION IN A FLAT CHANNEL

Abstract. *In this paper, we consider the propagation of a shock wave from a pure gas into a heterogeneous mixture consisting of solid particles suspended in a gas and having an electric charge. The applied mathematical model takes into account the speed and thermal interaction of the carrier and dispersed components of the mixture. The force interaction of particles and gas was described by the Stokes force. The carrier medium was described as a viscous compressible heat-conducting gas. The equations of the mathematical model were solved by the explicit finite-difference method of the second order of accuracy, using the non-linear correction of the grid function. The system of equations of the mathematical model was supplemented by boundary and initial conditions for the desired functions. As a result of numerical simulation, it was found that in an electrically charged gas suspension there is a difference in gas pressure and velocity, “average density” and velocity of the dispersed component, compared with similar values in a gas suspension with an electrically neutral dispersed component. The revealed differences in the dynamics of neutral and electrically charged dusty media can be explained by the fact that the dispersed component of an electrically charged gas suspension is affected by both aerodynamic drag forces and Coulomb forces. Due to interfacial interaction, the dynamics of the carrier medium changes.*

Keywords: *multiphase media, interfacial interaction, shock waves, Navier–Stokes equation, electro hydrodynamics.*

BIBLIOGRAPHY

1. Nigmatulin, R.I. Dinamika mnogofaznyh sred. / R.I. Nigmatulin CH.1 Nauka, 1987. 464s.
2. Kutushev, A.G. Matematicheskoe modelirovanie volnovykh processov v aerodispersnyh i poroshkoobraznyh sredah. / A.G. Kutushev SPb.: Nedra, 2003, 284 s.
3. Fedorov, A.V. Volnovye processy v gazovzvesyah chastic metallov. / A.V. Fedorov, V.M. Fomin, T.A. Hmel Novosibirsk, 2015. 301 s.
4. Sadin, D.V. TVD scheme for stiff problems of wave dynamics of heterogeneous media of nonhyperbolic nonconservative type // D.V. Sadin / Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2016. V. 56. No. 12. P. 2068–2078.
5. Varaksin, A.Y. Clusterization of particles in turbulent and vortex two-phase flows // A.Y. Varaksin/High Temperature. 2014. V. 52. No. 5. P. 752–769.
6. Glazunov, A.A., Dyachenko N.N., Dyachenko L.I. Numerical investigation of the flow of ultradisperse particles of the aluminum oxide in the solid-fuel rocket engine nozzle // A.A. Glazunov, N.N. Dyachenko, L.I. Dyachenko / Thermophysics and Aeromechanics. 2013. V. 20. No. 1. P. 79–86.
7. Zhuoqing, A. Correlating the apparent viscosity with gas–solid suspension flow in straight pipelines// A. Zhuoqing, Z. Jesse / Powder Technology, Volume 345, 1 March 2019, P. 346–351. DOI: 10.1016/j.powtec.2018.12.098
8. Gubaidullin, D. A. Numerical investigation of the evolution of a shock wave in a gas suspension with consideration for the nonuniform distribution of the particles // D.A. Gubaidullin, D.A. Tukmakov / Mathematical Models and Computer Simulations 2015, Volume 7, Issue 3, p. 246–253.
9. Nigmatulin, R.I. Shock Wave Dispersion of Gas – Particle Mixtures // R.I. Nigmatulin, D.A. Gubaidullin, D.A. Tukmakov Doklady Physics, 2016, Vol. 61, No. 2, pp. 70–73.
10. Gubaidullin, D.A Influence of the disperse phase properties on characteristics of the shock wave passing the direct shock from pure gas in the gas mixture // D.A. Gubaidullin, D.A Tukmakov / Russian Aeronautics. 2017. V. 60. No. 3. P. 457–462.
11. Tukmakov, D.A. Teoreticheskoe issledovanie relaksacii intensivnosti skachka davleniya na fronte udarnoy volny v gazovzvesi // D.A. Tukmakov / Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii, 2019, № 3, С.3–11.

12. Tada, Y., Heat transfer enhancement in a gas–solid suspension flow by applying electric field// Y. Tada, S. Yoshioka, A. Takimoto, Y. Hayashi / International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 93, February 2016, P. 778–787.
13. Zinchenko S.P., Tolmachev G.N. Accumulation of products of ferroelectric target sputtering in the plasma of an rf glow discharge // S.P. Zinchenko, G.N. Tolmachev /Plasma Physics Reports. 2013. V. 39. No. 13. P. 1096–1098.
14. Dikalyuk, A.S. Numerical simulation of rarefied dusty plasma in a normal glow discharge // A.S. Dikalyuk, S.T. Surzhikov /High Temperature. 2012. V. 50. No. 5. p. 571–578.
15. Panyushkin, V.V., Pashin M.M. Izmerenie zaryada poroshka, nanosimogo raspylitelyami s vneshnej zaryadkoj // V.V. Panyushkin, M.M. Pashin / Lakokrasochnye materialy i ih primeneniye, 1984, № 2.S. 25–27.
16. Salyanov, F.A. Osnovy fiziki nizektemperaturnoj plazmy, plazmennyyh apparatov i tekhnologij. /F.A. Salyanov M.:Nauka, 1997.240 s.
17. Tukmakov, A.L. CHislennoye modelirovaniye akusticheskikh techeniy pri rezonansnykh kolebaniyakh gaza v zakrytoy trube //A.L. Tukmakov/ Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Aviacionnaya tekhnika. 2006. № 4. S. 33–36.
18. Fletcher, C.A. Computation Techniques for Fluid Dynamics. /C.A. Fletcher Springer–Verlag: Berlin, 1988, 502 P.
19. Muzafarov, I.F., Utyuzhnikov S.V. Primeneniye kompaktnykh raznostnykh skhem k issledovaniyu nestacionarnykh techeniy szhimaemogo gaza // I.F. Muzafarov, S.V., Utyuzhnikov / Matematicheskoye modelirovaniye, 1993, t.5, №3, C.74–83.
20. Krylov, V.I. Vychislitelnye metody. /V.I. Krylov, V.V. Bobkov, P.I. Monastyrynj T.2, M.: «Nauka», 1977, 401 s.

Tukmakov Dmitry Alekseevich

The Institute of Mechanics and Mechanical Engineering is a separate structural subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science “Federal Research Center Kazan Research Center of the Russian Academy of Sciences”.

candidate of physical and mathematical sciences, researcher

Address: 420111, Kazan, ul. Lobachevsky, d. 2/31

Phone: (843) 292–76–14

e-mail: tukmakovDA@imm.knc.ru

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА, ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ

УДК 534.014

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-340-2-19-25

ПОПОВ И.П.

МУЛЬТИИНЕРТНЫЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ

Аннотация. Рассматривается механическая колебательная система с однородными элементами, а именно, с n массивными грузами (мультиинертный осциллятор). Показана возможность возникновения в такой системе свободных гармонических колебаний грузов. В отличие от классического пружинного маятника, колебания которого обусловлены взаимным преобразованием кинетической энергии груза в потенциальную энергию пружины, в мультиинертном осцилляторе колебания обусловлены взаимным преобразованием только кинетических энергий грузов. При этом ускорение одних грузов происходит за счет торможения других. Особенностью мультиинертного осциллятора является то, что частота его свободных колебаний не фиксирована и определяется преимущественно начальными условиями. Эта особенность может оказаться весьма полезной для технических приложений, например, для самонейтрализации механической реактивной (инерционной) мощности в колебательных системах.

Ключевые слова: осциллятор, инертный, гармонический, реактивность, пространственный сдвиг, фазовый сдвиг, кинетическая энергия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов, И.П. Дифференциальные уравнения двух механических резонансов / И.П. Попов // Прикладная физика и математика. 2019. № 2. С. 37–40. DOI: 10.25791/pfim.02.2019.599
2. Попов, И.П. Применение символического (комплексного) метода для расчета сложных механических систем при гармонических воздействиях / И.П. Попов // Прикладная физика и математика. 2019. № 4. С. 14–24. DOI: 10.25791/pfim.04.2019.828
3. Попов, И.П. Антирезонанс – резонанс скоростей / И.П. Попов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2019. Т. 20. № 6. С. 362–366. <https://doi.org/10.17587/mau.20.362-366>

4. Прокопов, Е.Е. Методы исследования процессов в системах виброзащиты с управляемой жесткостью / Е.Е. Прокопов, А.В. Горин // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2019. № 2(334). с. 52–59.

5. Владимиров, А.А. Геометрическая модель шероховатости при точении с маятниковыми колебаниями резца / А.А. Владимиров, А.Н. Афонин, А.В. Макаров, М.Ю. Назарова // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2019. № 4–1(336). с. 15–19.

6. Коробко, В.И. Экспериментальное определение основной частоты колебаний пластинок в виде ромба и равнобедренного треугольника / В.И. Коробко, Н.Г. Калашникова // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2018. № 3(329). с. 57–63.

7. Коробко, В.И. Взаимосвязь максимального прогиба и основной частоты колебаний пластинок / В.И. Коробко, А.А. Черняев, С.В. Шляхов, В.О. Тюрин // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2018. № 2(328). с. 3–8.

8. Морева, И.Н. Определение коэффициентов волнового демпфирования методом свободных затухающих колебаний / И.Н. Морева, Е.В. Хромов // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2019. № 4–2(336). с. 73–76.

9. Лопа, И.В., Приближенное решение задачи о продольных волнах напряжений в упруго вязкопластических стержнях / И.В. Лопа // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2019. № 2(334). с. 14–17.

10. Леоненко, Д.В. Колебания трехслойной цилиндрической оболочки в упругой среде под действием осесимметричных динамических нагрузок / Д.В. Леоненко // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2018. № 3(329). с. 64–72.

Попов Игорь Павлович

Курганский государственный университет

Старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»

640002, Курган, ул. Томина, 106, кв. 52

8–951–273–80–87

E-mail: ip.popow@yandex.ru

I.P. POPOV

MULTI-INERT OSCILLATORY MECHANISM

Abstract. *A mechanical oscillatory system with homogeneous elements, namely, with n massive loads (multi-inert oscillator), is considered. The possibility of the appearance of free harmonic oscillations of loads in such a system is shown. Unlike the classical spring pendulum, the oscillations of which are due to the mutual conversion of the kinetic energy of the load into the potential energy of the spring, in a multi-inert oscillator, the oscillations are due to the mutual conversion of only the kinetic energies of the goods. In this case, the acceleration of some loads occurs due to the braking of others. A feature of the multi-inert oscillator is that its free oscillation frequency is not fixed and is determined mainly by the initial conditions. This feature can be very useful for technical applications, for example, for self-neutralization of mechanical reactive (inertial) power in oscillatory systems.*

Keywords: *oscillator, inert, harmonic, reactivity, spatial shift, phase shift, kinetic energy.*

BIBLIOGRAPHY

1. Popov, I.P. Differentsialnyye uravneniya dvukh mekhanicheskikh rezonansov / I.P. Popov // *Prikladnaya fizika i matematika*. 2019. № 2. S. 37–40. DOI: 10.25791/pfim.02.2019.599

2. Popov, I.P. Primeneniye simvolicheskogo (kompleksnogo) metoda dlya rascheta slozhnykh mekhanicheskikh sistem pri garmonicheskikh vozdeystviyakh / I.P. Popov // *Prikladnaya fizika i matematika*. 2019. № 4. S. 14–24. DOI: 10.25791/pfim.04.2019.828

3 Popov, I.P. Antirezons – rezons skorostey / I.P. Popov // *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravleniye*. 2019. T 20. № 6. S. 362–366. <https://doi.org/10.17587/mau.20.362–366>

4. Prokopov, Ye.Ye. Metody issledovaniya protsessov v sistemakh vibrozashchity s upravlyayemoy zhestkostyu / Ye.Ye. Prokopov, A.V. Gorin // *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2019. № 2(334). S. 52–59.

5. Vladimirov, A.A. Geometricheskaya model sherokhovatosti pri tochenii s mayatnikovymi kolebaniyami reztsa / A.A. Vladimirov, A.N. Afonin, A.V. Makarov, M.YU. Nazarova // *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2019. № 4–1(336). S. 15–19.

6. Korobko, V.I. Eksperimentalnoye opredeleniye osnovnoy chastoty kolebaniy plastinok v vide romba i ravnobedrennogo treugolnika / V.I. Korobko, N.G. Kalashnikova // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2018. № 3(329). S. 57–63.

7. Korobko, V.I. Vzaimosvyaz maksimalnogo progiba i osnovnoy chastoty kolebaniy plastinok / V.I. Korobko, A.A. Chernyayev, S.V. Shlyakhov, V.O. Tyurin // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2018. № 2(328). S. 3–8.

8. Moreva, I.N. Opredeleniye koeffitsiyentov volnovogo dempfirovaniya metodom svobodnykh zatukhayushchikh kolebaniy / I.N. Moreva, Ye.V. Khromov // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2019. № 4–2(336). S. 73–76.

9. Lopa, I.V., Priblizhennoye resheniye zadachi o prodolnykh volnakh napryazheniy v uprugoy vyazkoplasticheskikh sterzhnyakh / I.V. Lopa // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2019. № 2(334). S. 14–17.

10. Leonenko, D.V. Kolebaniya trekhsloynoy tsilindricheskoy obolochki v uprugoy srede pod deystviyem osesimmetrichnykh dinamicheskikh nagruzok / D.V. Leonenko // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2018. № 3(329). S. 64–72.

Popov Igor Pavlovich

Kurgan State University

Senior Lecturer, Department of «Engineering Technology, machine tools and instruments»

640002, Kurgan, Tomina str., 106–52

8–951–273–80–87

E-mail: ip.popow@yandex.ru

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 621.785

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-340-2-26-33

В.Р. ЭДИГАРОВ

ТЕХНОЛОГИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНОУЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Аннотация. *Представлена технология комбинированной электромеханоультразвуковой обработки (ЭМУЗО), являющаяся комбинацией электромеханической обработки и поверхностного пластического деформирования ультразвуковой обработкой. Исследованы микротвердость и остаточные напряжения в упрочненном ЭМУЗО поверхностном слое деталей машин.*

Ключевые слова: *технология, остаточные напряжения, микротвердость, электромеханическая обработка, ультразвуковая обработка.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эдигаров, В.Р. Повышение эксплуатационных свойств деталей многоцелевых гусеничных машин технологическими методами / В.Р. Эдигаров, И.Ю. Килунин // Вестник академии военных наук. – 2011. – № 2(35). – С.333–339.

2. Белый, А.В. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев / А.В. Белый, Г.Д. Карпенко, Н.К. Мышкин. – М.: Машиностроение, 1991. – 208 с.

3. Хейфец, М.Л. Проектирование процессов комбинированной обработки / М.Л. Хейфец. – М.: Машиностроение, 2005. – 272 с.

4. Киричек, А.В. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием: библиотека технолога / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, А.Г. Лазуткин. – М.: Машиностроение, 2004. – 288 с.

5. Клименов, В.А. Ультразвуковое модифицирование поверхности и его влияние на свойства покрытий / В.А. Клименов, Ж.Г. Ковалевская, П.В. Уваркин [и др.] // Физическая мезомеханика. – 2004. – Т.7. – Специальный выпуск. – Ч. 2. – С. 157–160.

6. Чудина, О.В. Комбинированное поверхностное упрочнение углеродистых сталей лазерным легированием с последующим азотированием / О.В. Чудина, В.А. Александров, А.А. Брежнев // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. – №4. – С.33–37.
7. Багмутов, В.П. Исследование структуры и свойств наноматериалов, полученных комбинированной обработкой / В.П. Багмутов, В.И. Калита, И.Н. Захаров, А.Ю. Иванников, Е.Б. Захарова // Известия ВолГТУ: межвуз. сб. науч. ст. №2 / ВолГТУ. – Волгоград, 2008. – Т.10. – С.102–106.
8. Аскинази, Б.М. Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой / Б.М. Аскинази. – Л.: Машиностроение, 1977. – 184 с.
9. Эдигаров, В.Р. Классификация комбинированных методов обработки на основе электромеханического упрочнения / В.Р. Эдигаров, И.Ю. Килунин, В.В. Дегтярь // Современные наукоемкие технологии. – 2012. – №3. – С. 32–36.
10. Эдигаров, В.Р. Технологии и оборудование комбинированных способов электромеханической обработки: монография / В.Р. Эдигаров. – Омск: ОАБИИ, 2014. – 280 с.
11. Эдигаров, В.Р. Повышение износостойкости деталей ходовой части многоцелевых гусеничных машин комбинированными методами электромеханической обработки. / В.Р. Эдигаров, В.В. Малый // Вестник СибАДИ. – 2014. – №4(38). С. 57–64.
12. Эдигаров, В.Р. Комбинированная электромеханоультразвуковая обработка поверхностных слоев деталей машин / В.Р. Эдигаров, Б.Ш. Алимбаева, П.Е. Перков // Вестник СибАДИ. – 2017. – №2(54). С. 42–48.
13. Багмутов, В.П. Упрочнение плазменных покрытий электромеханической обработкой / В.П. Багмутов, В.И. Калита, И.Н. Захаров, Д.И. Комлев, А.Ю. Иванников // Физика и химия обработки материалов. – 2008. – №1. – С.38–42.
14. Косогоров, В.А. Комбинированное поверхностное упрочнение стальных сплавов на основе электромеханической и ультразвуковой обработок / В.А. Косогоров, В.П. Багмутов, И.Н. Захаров, Д.С. Денисевич, П.В. Косогорова // Известия ВолГТУ. – 2014. – №1(128). – Т.7. – С. 10–14.
15. Багмутов, В.П. Комбинированное поверхностное упрочнение стальных и титановых сплавов на основе электромеханической и ультразвуковой обработок / В.П. Багмутов, И.Н. Захаров, А.П. Горунов, Е.Б. Захарова, Д.С. Денисевич, Л.В. Косогоров // Известия ВолГТУ. – 2013. – №6(109). – Т.7. – С. 68–71.
16. Гинье, А. Рентгенография кристаллов / А. Гинье. – М.: Физмат, 1961. – 640 с.
17. Багмутов, В. П. Электромеханическая обработка / В.П. Багмутов, С.Н. Паршев, Н.Г. Дурхина, Н.Н. Захаров. – Новосибирск: Наука, 2003. – 318 с.

Эдигаров Вячеслав Робертович

Филиал федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева» в г. Омске
кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры двигателей
644021, г. Омск, ул. 9-я Линия, д.193, кв.54
8-913-6377116
e-mail: edigarovs@mail.ru

V.R. EDIGAROV

TECHNOLOGY OF COMBINED ELECTROMECHANOUltrasonic TREATMENT OF SURFACE LAYERS OF MACHINE PARTS

Abstract. *The technology of combined electro-mechanical-acoustic treatment is presented, which is a combination of electro-mechanical treatment and surface plastic deformation by ultrasonic treatment. Microhardness and residual stresses in strengthened EMUzO surface layer of machine parts investigated.*

Keywords: *technology, residual stress, microhardness, electromechanical, ultrasonic.*

BIBLIOGRAPHY

1. Edigarov, V.R. Improvement of operational properties of parts of multipurpose caterpillar vehicles by technological methods/V.R. Edigarov, I.Y. Kilunin//Journal of the Academy of Military Sciences. – 2011. – № 2 (35). – С.333–339.
2. White, A.V. Structure and Methods of Formation of Wear-Resistant Surface Layers/A.V. White, G.D. Carpenko, N.K. Myshkin. – M.: Mechanical Engineering, 1991. – 208 p.
3. Heifets, M.L. Design of combined processing processes/M.L. Heifets. – M.: Mechanical Engineering, 2005. – 272 p.
4. Kirichek, A.V. Tekhnologiya and equipment of statiko-pulse processing by superficial plastic deformation: library of the technologist / A.V. Kirichek, D.L. Solovyov, A.G. Lazutkin. □ M.: Mechanical engineering, 2004. □ 288 pages.

5. Klimenov, V.A. Ultrasonic surface modification and its effect on coating properties/V.A. Klimenov, Zh.G. Kovalevska, P.V. Uvarkin [et al.]/Physical mesomechanical. – 2004. – Т.7. – Special issue. – Part 2. – P.157–160.
6. Chudina, O.V. Combined surface strengthening of carbon steels by laser alloying with subsequent nitriding/O.V. Chudina, V.A. Alexandrov, A.A. Brezhnev//Strengthening technologies and coatings. – 2010. – № 4. – С.33–37.
7. Bagmutov, V.P. Study of structure and properties of nanomaterials obtained by combined treatment/V.P. Bagmutov, V.I. Kalita, I.N. Zakharov, A.Y. Ivannikov, E.B. Zakharov//News of VogGTU: inter-university. сб. науч. Article No. 2/VolgGTU. – Volgograd, 2008. – Т.10. –С.102–106.
8. Askinaz, B.M. Hardening and restoration of parts by electrical and sanitary treatment/B.M. Askinazi. – L.: Mechanical Engineering, 1977. 184 p.
9. Edigarov, V.R. Classification of combined methods of treatment based on electromechanical hardening/V.R. Edigarov, I.Y. Kilunin, V.V. Degtyar//Modern knowledge-intensive technologies. – 2012. – № 3. – С. 32–36.
10. Edigarov, V.R. Technologies and equipment of combined methods of electromechanical processing: monograph/V.R. Edigarov. – Omsk: OABII, 2014. 280 p.
11. Edigarov, V.R. Increase of wear resistance of parts of running gear of multi-purpose caterpillar machines by combined methods of electromechanical processing./V.R. Edigarov, V.V. Small//Journal SibADI. – 2014. – № 4 (38). Page 57–64.
12. Edigarov, V.R. Combined Electric Mechanical and Cultural Processing of Surface Layers of Machine Parts/V.R. Edigarov, B.S. Alimbayeva, P.E. Perkov//SibADI Gazette. – 2017. – № 2 (54). Page 42–48.
13. Bagmutov, V.P. Hardening of plasma coatings by electromechanical treatment/V.P. Bagmutov, V.I. Kalita, I.N. Zaharov, D.I. Komlev, A.Y. Ivannikov//Physics and Chemistry of Material Processing. –2008. – № 1. – С.38–42.
14. Slopes, VA. The combined superficial hardening of steel alloys on the basis of electromechanical and ultrasonic processings/VA. Kosogorov, V.P. Bagmutov, I.N. Zakharov, D.S. Denisevich, P.V. Kosogorova//Izvestiya VOLGGTU. – 2014. – No. 1 (128). – Т.7. – Page 10–14.
15. Bagmutov, V. P. The combined superficial hardening of steel and titanic alloys on the basis of electromechanical and ultrasonic processings / Accusative Bagmutov, I.N. Zakharov, A.P. Gorunov, E.B. Zakharova, D.S. Denisevich, L.V. Kosogorov//Izvestiya VOLGGTU. – 2013. – No. 6 (109). – Т.7. – Page 68–71.
16. Ginje, A. Crystal X-rays/A. Genier –M: Fizmat, 1961.–640s.
17. Bagmutov, V. P. Electromechanical Processing/V.P. Bagmutov, S.N. Parshev, N.G. Durkhina, N.N. Zaharov. – Novosibirsk: Science, 2003. – 318 p.

Edigarov Vyacheslav Robertovich

Branch of the Federal State Military Educational Institution of Higher Education «Military Academy of Logistics named after Army General A.V. Krulev» in Omsk
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Engine Department
644021, Omsk, 9th Line Str., 1993, q.54
8–913–6377116
e-mail: edigarovs@mail.ru

УДК 621.77.04

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-340-2-34-42

С.Ю. РАДЧЕНКО, В.А. ГОЛЕНКОВ, Д.О. ДОРОХОВ,

**УПРАВЛЯЕМОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ЗАДАННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ДЕФОРМАЦИОННЫМ
УПРОЧНЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ КОМПЛЕКСНОГО ЛОКАЛЬНОГО
НАГРУЖЕНИЯ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ**

Аннотация. Рассмотрен процесс комплексного локального нагружения очага деформации на примере обработки втулки из бронзового сплава, были определены механические свойства исследуемого литого сплава и исследованы параметры распределения микротвердости по сечению обработанной заготовки. Построены графики зависимости распределения различных параметров микротвердости по сечению в зависимости от числа циклов обработки. Показана математическая модель рассматриваемого процесса и его сравнение с экспериментальными данными. Приведено описание методики в виде алгоритма действий по назначению технологических параметров. Представлен пример в виде готовой номограммы для назначения конкретных параметров обработки для получения заданного по глубине и величине упрочнения.

Ключевые слова: обработка металлов давлением, комплексное локальное нагружение очага деформации, управление технологическим процессом, параметр Одквиста, микротвердость, упрочнение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голенков, В.А. Научные основы упрочнения комплексным локальным деформированием / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, Г.П. Короткий. – М.: ООО «Издательство Машиностроение», Орел: Госуниверситет–УНПК. – 2013. – 122 с.
2. Голенков, В.А. Классификация процессов комплексного локального деформирования / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2010. – № 6. – С. 85–89.
3. Голенков, В.А. Анализ видов упрочняющей обработки пластическим деформированием / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2011. – № 1. – С. 59–62.
4. Голенков, В.А. Перспективы применения технологии «валковая штамповка» для получения градиентных субмикро– и наноструктурных материалов / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов. // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 2. – Тула: Изд-во ТулГУ, – 2008. – С.123–128.
5. Голенков, В.А. Формирование градиентных субмикро– и наноструктурных состояний комплексным локальным нагружением очага деформации / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2009. – №3. – С. 54–56.
6. Голенков, В.А. Создание градиентных структур на основе метода валковой штамповки / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, О.В. Дорофеев, Д.О. Дорохов // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии», № 3/275(561). – Орел: ОрелГТУ. – 2009. – С.42–46.
7. Голенков, В.А. Научная технология обработки давлением с комплексным локальным нагружением очага деформации / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов // Научные технологии в машиностроении. 2011. – № 3. – С. 31–37.
8. Дорохов, Д.О. Управляемое формирование механических свойств в изделиях методом комплексного локального деформирования / Д.О. Дорохов // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». – Орел: ОрелГТУ, № 4(288). – Орел, ОрелГТУ – 2011г. – С 31–37
9. Голенков, В.А. К вопросу о повышении эксплуатационных характеристик полых осесимметричных деталей машин методами интенсивной пластической деформации/ Голенков В.А., Радченко С.Ю., Дорохов Д.О., Грядун И.М. // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – № 6. – С. 71–77.
10. Голенков, В.А. Создание градиентных наноструктур в осесимметричных изделиях / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун // Наноинженерия. – 2012. – № 5. – С. 18–22.
11. Радченко, С.Ю. Новые технологические схемы упрочняющей обработки вкладышей подшипников скольжения в условиях комплексного локального нагружения очага деформации / С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун // Мир транспорта и технологических машин. – 2014. – № 4(47). – С. 47–54.
12. Радченко, С.Ю. Перспективы применения технологии комплексного локального деформирования для упрочнения подшипников скольжения коленчатого вала / С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, А.А. Кисловский // Мир транспорта и технологических машин. – 2015. – № 3(46). – С. 35–46.
13. Голенков, В.А. Методика проектирования технологического процесса упрочнения деталей типа втулок пластическим деформированием в условиях комплексного локального нагружения по требуемым параметрам изделий / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2015. – № 3(311). – С. 93–99.
14. Радченко С.Ю., Дорохов Д.О., Грядун И.М. Подход к построению методики проектирования технологических процессов упрочняющей обработки комплексным локальным деформированием // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологий. 2017. № 2 (322). С. 96–105.
15. Golenkov, V.A., Radchenko, S.J., Gryadunov, I.M. Hardening process by complex local deformation investigation // Materials Science Forum 870, 2016, с. 149–158
16. Пат. 2387514 РФ, B21D 51/02. Способ получения металлических втулок с градиентной субмикро– и нанокристаллической структурой/В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ОрелГТУ». № 2008146756/02; заявл. 26.11.2008; опубл. 27.04.2010, Бюл. № 12.
17. Пат. 2389580 РФ, B21D 51/02. Способ получения металлических втулок с градиентной субмикро– и нанокристаллическим состоянием материала/В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ОрелГТУ». № 2008146754/02; заявл. 26.11.2008; опубл. 20.05.2010, Бюл. № 14.
18. Пат. 2462327 РФ, МПК B21H1/22. Способ получения металлических втулок с градиентно–упрочнённой структурой / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, И.М. Грядун (RU). №2010153917/02; Заявлено 27.12.2010; Опубл. 27.09.2012, Бюл. №27.
19. Голенков, В.А. Применение комплексного локального нагружения при формировании градиентных механических свойств / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, О.В. Дорофеев, Д.О. Дорохов // Заготовительные производства в машиностроении. №10 – 2009. – С. 22–25
20. Голенков, В.А. Методика исследования влияния геометрии формообразующего инструмента на упрочнение деталей машин методами комплексного локального деформирования / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, А.А. Кисловский // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – № 2. – С. 97–104.
21. S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.M. Gryadunov, The volumetric surface hardening of hollow axisymmetric parts by roll stamping method, Journal of Chemical Technology and Metallurgy, Vol. 50, Iss. 1, 2015, p 104–112.
22. I. M. Gryadunov, S. Yu. Radchenko, D. O. Dorokhov, P. G. Morrev, Deep Hardening of Inner Cylindrical Surface by Periodic Deep Rolling – Burnishing Process, Modern Applied Science; Vol. 9, No. 9; 2015, p 251–258.
23. Radchenko, S.J., Dorokhov, D.O., Gryadunov, I.M. Evolution of BrOCS 5–5–5 alloy microstructure and mechanical parameters under intensive plastic deformation conditions // Solid State Phenomena, 2017, 265 SSP, с. 157–165.

24. Радченко С.Ю., Дорохов Д.О., Грядунув И.М. Распределение микротвердости по сечению изделий при упрочнении в условиях комплексного локального нагружения // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2017. № 4–1 (324). С. 132–138.

25. Golenkov, V.A., Radchenko, S.J., Dorokhov, D.O., Gryadunov, I.M. Microhardness distribution in the cross-section in case of strain hardening under combined local load // International Journal of Applied Engineering Research. 11(20), 2016, с. 10315–10320.

26. Голенков, В.А. Математическое моделирование упрочняющей валковой штамповки / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии», № 4/276(575). – Орел: ОрелГТУ. – 2009. – С.54–58.

27. Голенков, В.А. Математическая модель упрочняющей обработки внутренней поверхности деталей типа втулок интенсивной пластической деформацией в условиях комплексного локального нагружения очага деформации / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядунув, П.Г. Морев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2013. – № 5. – С. 40–47.

28. Голенков, В.А. Постановка задачи оптимизации геометрии инструмента при комплексном локальном деформировании / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, А.А. Кисловский // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – № 3(305). – С. 86–91.

29. Pilipenko, O.V., Radchenko, S.Y., Dorokhov, D.O., Gryadunov, I.M. Connection of odkvist parameter and values of microhardness when hardening by plastic deformation // International Journal of Applied Engineering Research, 2017, 12(13), с. 3639–3644.

30. Gryadunov, I.M., Golenkov, V.A., Pilipenko, O.V., Radchenko, S.J. Hardening treatment by plastic deformation under conditions of the integrated local loading of a deformation zone // International Journal of Applied Engineering Research, 2017, 12(21), с. 11094–11100.

31. Радченко С.Ю., Дорохов Д.О. Теоретические исследования процесса упрочняющей обработки металлов давлением с комплексным локальным нагружением очага деформации // Известия ТулГУ. Тех. науки. Вып. 11, часть 1. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2017 г., С.132–142.

32. Pilipenko, O.V., Radchenko, S.J., Golenkov, V.A., Dorokhov, D.O. Numerical Mathematical Simulation of Penetration of Indenters of Different Shapes During Strengthening Machine Parts via Local Loading of Deformation Zone // International Symposium on Engineering and Earth Sciences (ISEES 2018). Advances in Engineering Research, volume 177, p. 568–573.

33. Pilipenko, O.V., Radchenko, S.J., Golenkov, V.A., Dorokhov, D.O. Gradient Strengthening Control Procedure Based on Numerical Simulation of Combined Local Loading Of Deformation Zone // International Symposium on Engineering and Earth Sciences (ISEES 2018). Advances in Engineering Research, volume 177, p. 574–577.

Радченко Сергей Юрьевич
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орел
Доктор технических наук, профессор, проректор по научно-технологической деятельности и аттестации научных кадров
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. +7(4862)47–50–71
E-mail: radsu@rambler.ru

Голенков Вячеслав Александрович
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орел
Доктор технических наук, профессор, руководитель научной школы
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. +7(4862)43–26–06
E-mail: president@ostu.ru

Дорохов Даниил Олегович
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орел
Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры машиностроения
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79102084402
E-mail: ddostu@mail.ru

S.Yu. RADCHENKO, V.A. GOLENKOV, D.O. DOROKHOV

CONTROLLED FORMATION OF THE DESIGNED MECHANICAL PROPERTIES OF MACHINE PARTS BY DEFORMATION HARDENING IN THE CONDITIONS OF COMPLEX LOCAL LOADING OF THE DEFORMATION ZONE

Abstract. *The process of complex local loading of the deformation zone is considered using the example of processing a sleeve made of a bronze alloy, the mechanical properties of the cast alloy under study were determined, and the parameters of the microhardness distribution over the cross section of the processed workpiece were investigated. Plots of the distribution of various microhardness parameters over the cross section are plotted depending on the number of processing cycles. A mathematical model of the process under consideration and its comparison with experimental data is shown. The description of the technique in the form of an algorithm of actions for the appointment of technological parameters. An example is presented in the form of a finished nomogram for the assignment of specific processing parameters to obtain a given hardening depth and value.*

Keywords: *metal forming, integrated local loading of the deformation zone, process control, Oqvist parameter, microhardness, hardening.*

BIBLIOGRAPHY

1. Golenkov, V.A. Scientific basis of hardening by complex local deformation [Text] / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, G.P. Short. – M.: Publishing House Engineering, LLC, Orel: State University–UNPK. – 2013. — 122 s.
2. Golenkov, V.A. Classification of processes of complex local deformation [Text] / V.A. Golenkov S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.M. Gryadunov // Fundamental and applied problems of engineering and technology. 2010. – No. 6. – S. 85–89.
3. Golenkov, V.A. Analysis of the types of hardening treatment by plastic deformation [Text] / V.A. Golenkov S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.M. Gryadunov // Fundamental and applied problems of engineering and technology. 2011. – No. 1. – S. 59–62.
4. Golenkov, V.A. Prospects for the application of the technology of «roll stamping» to obtain gradient submicro– and nanostructured materials [Text] / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov. // Bulletin of TulSU. Technical science. Vol. 2. – Tula: Publishing house of TulSU, – 2008. – S.123–128.
5. Golenkov, V.A. Formation of gradient submicro– and nanostructured states by complex local loading of the deformation zone [Text] / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov // Hardening technologies and coatings. – 2009. – No. 3. – S. 54–56.
6. Golenkov, V.A. Creation of gradient structures based on the roll stamping method [Text] / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, O.V. Dorofeev, D.O. Dorokhov // News of Orel State Technical University. Series «Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology», No. 3/275 (561). – Eagle: Orel State Technical University. – 2009. – S. 42–46.
7. Golenkov, V.A. High technology pressure processing with integrated local loading of the deformation zone [Text] / V.A. Golenkov S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov // High technology in mechanical engineering. 2011. – No. 3. – S. 31–37.
8. Dorokhov, D.O. The controlled formation of mechanical properties in products by the method of integrated local deformation [Text] / D.O. Dorokhov // News of Orel State Technical University. Series «Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology». – Eagle: Orel State Technical University, No. 4 (288). – Eagle, Orel State Technical University – 2011 – C 31–37
9. Golenkov, V.A. On the issue of improving the operational characteristics of hollow axisymmetric machine parts by intensive plastic deformation / Golenkov V.A., Radchenko S.Yu., Dorokhov D.O., Gryadunov I.M. // Fundamental and applied problems of engineering and technology. – 2012. – No. 6. – S. 71–77.
10. Golenkov, V.A. Creation of gradient nanostructures in axisymmetric products [Text] / V.A. Golenkov S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.M. Gryadunov // Nanoengineering. – 2012. – No. 5. – P. 18–22.
11. Radchenko, S.Yu. New technological schemes of hardening treatment of plain bearing shells under complex local loading of the deformation zone [Text] / S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.M. Gryadunov // World of transport and technological machines. – 2014. – No. 4 (47). – S. 47–54.
12. Radchenko, S.Yu. Prospects for the application of integrated local deformation technology for hardening bearings of a crankshaft [Text] / S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, A.A. Kislovsky // World of transport and technological machines. – 2015. – No. 3 (46). – S. 35–46.
13. Golenkov, V.A. Technique for designing the technological process of hardening parts such as bushings by plastic deformation under conditions of complex local loading according to the required parameters of the products [Text] / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.M. Gryadunov // Fundamental and applied problems of engineering and technology. – 2015. – No. 3 (311). – S. 93–99.
14. Radchenko S.Yu., Dorokhov D.O., Gryadunov I.M. An approach to constructing a methodology for designing technological processes of hardening processing by complex local deformation // Fundamental and applied problems of engineering and technology. 2017. No. 2 (322). S. 96–105.
15. Golenkov, V.A., Radchenko, S.J., Gryadunov, I.M. Hardening process by complex local deformation investigation // Materials Science Forum 870, 2016, p. 149–158
16. Pat. 2387514 RF, B21D 51/02. A method of producing metal bushings with a gradient submicro– and nanocrystalline structure / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov; applicant and patent holder GOU VPO “OrelGTU”. No. 2008146756/02; declared 11/26/2008; publ. 04/27/2010, Bull. Number 12.
17. Pat. 2389580 RF, B21D 51/02. A method of producing metal bushings with a gradient submicro– and nanocrystalline state of the material / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov; applicant and patent holder GOU VPO “OrelGTU”. No. 2008146754/02; declared 11/26/2008; publ. 05/20/2010, Bull. Number 14.
18. Pat. 2462327 RF, IPC B21H1 / 22. A method of obtaining a metal sleeve with a gradient hardened structure / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, I.M. Gryadunov (RU). No. 201053917/02; Announced on 12/27/2010; Publ. 09/27/2012, Bull. Number 27.
19. Golenkov, V.A. Application of complex local loading in the formation of gradient mechanical properties [Text] / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, O.V. Dorofeev, D.O. Dorokhov // Procurement in engineering. No. 10 – 2009. – S. 22–25
20. Golenkov, V.A. Methodology for studying the influence of the geometry of the forming tool on the hardening of machine parts by the methods of complex local deformation [Text] / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, A.A. Kislovsky // Fundamental and applied problems of engineering and technology. – 2014. – No. 2. – S. 97–104.
21. S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, I. M. Gryadunov, The volumetric surface hardening of hollow axisymmetric parts by roll stamping method, Journal of Chemical Technology and Metallurgy, Vol. 50, Iss. 1, 2015, p 104–112.

22. I. M. Gryadunov, S. Yu. Radchenko, D. O. Dorokhov, P. G. Morrev, Deep Hardening of Inner Cylindrical Surface by Periodic Deep Rolling – Burnishing Process, Modern Applied Science; Vol. 9, No. 9; 2015, p 251–258.
23. Radchenko, S.J., Dorokhov, D.O., Gryadunov, I.M. Evolution of BrOCS 5–5–5 alloy microstructure and mechanical parameters under intensive plastic deformation conditions // Solid State Phenomena, 2017, 265 SSP, p. 157–165.
24. Radchenko S.Yu., Dorokhov D.O., Gryadunov I.M. The distribution of microhardness over the cross section of products during hardening under complex local loading // Fundamental and applied problems of engineering and technology. 2017. No. 4–1 (324). S. 132–138.
25. Golenkov, V.A., Radchenko, S.J., Dorokhov, D.O., Gryadunov, I.M. Microhardness distribution in the cross-section in case of strain hardening under combined local load // International Journal of Applied Engineering Research. 11 (20), 2016, p. 10315–10320.
26. Golenkov, V.A. Mathematical modeling of reinforcing roll stamping [Text] / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov // News of Orel State Technical University. Series «Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology», No. 4/276 (575). – Eagle: Orel State Technical University. – 2009. – P.54–58.
27. Golenkov, V.A. A mathematical model of hardening of the inner surface of parts such as bushings by intense plastic deformation under conditions of complex local loading of the deformation zone [Text] / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.M. Gryadunov, P.G. Morev // Fundamental and applied problems of engineering and technology. – 2013. – No. 5. – S. 40–47.
28. Golenkov, V.A. The statement of the problem of optimizing the geometry of the tool during complex local deformation [Text] / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, A.A. Kislovsky // Fundamental and applied problems of engineering and technology. – 2014. – No. 3 (305). – S. 86–91.
29. Pilipenko, O.V., Radchenko, S.Y., Dorokhov, D.O., Gryadunov, I.M. Connection of odkvist parameter and values of microhardness when hardening by plastic deformation // International Journal of Applied Engineering Research, 2017, 12(13), c. 3639–3644.
30. Gryadunov, I.M., Golenkov, V.A., Pilipenko, O.V., Radchenko, S.J. Hardening treatment by plastic deformation under conditions of the integrated local loading of a deformation zone // International Journal of Applied Engineering Research, 2017, 12(21), c. 11094–11100.
31. Radchenko S.YU., Dorokhov D.O. Teoreticheskiye issledovaniya protsessa uprochnyayu–shchey obrabotki metallov davleniyem s kompleksnym lokalnym nagruzheniym ochaga deformatsii // Izvestiya TulGU. Tekh. nauki. Vyp. 11, chast 1. – Tula: Izd-vo TulGU, 2017 g., S.132–142.
32. Pilipenko, O.V., Radchenko, S.J., Golenkov, V.A., Dorokhov, D.O. Numerical Mathematical Simulation of Penetration of Indenters of Different Shapes During Strengthening Machine Parts via Local Loading of Deformation Zone // International Symposium on Engineering and Earth Sciences (ISEES 2018). Advances in Engineering Research, volume 177, p. 568–573.
33. Pilipenko, O.V., Radchenko, S.J., Golenkov, V.A., Dorokhov, D.O. Gradient Strengthening Control Procedure Based on Numerical Simulation of Combined Local Loading Of Deformation Zone // International Symposium on Engineering and Earth Sciences (ISEES 2018). Advances in Engineering Research, volume 177, p. 574–577.

Radchenko Sergey Yuryevich
«Orel State University named after I.S. Turgenev», Orel
Ph.D., professor, vice-rector for scientific and technological activities and certification of scientific personnel
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +7(4862)47–50–71
E-mail: radsu@rambler.ru

Golenkov Vyacheslav Aleksandrovich
«Orel State University named after I.S. Turgenev», Orel
Ph.D., professor, head of scientific school
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +7(4862)43–26–06
E-mail: president@ostu.ru

Dorokhov Daniil Olegovich
«Orel State University named after I.S. Turgenev», Orel
Ph.D., assistant professor, professor, department of mechanical engineering
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79102084402
E-mail: ddostu@mail.ru

УДК 621.791.927.5

DOI:10.33979/2073-7408-2020-340-2-43-49

М.А. СЕРЕЖКИН, Д.В. АНДРЕЕВА, С.Н. ГЛАЗУНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МНОГОСЛОЙНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ШИХТЫ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ХОДОВОЙ ЧАСТИ ЭКСКАВАТОРОВ

Аннотация. Настоящая работа посвящена определению количества наплавляемых слоев способом электродуговой наплавки с применением ферромагнитной шихты в случае устранения износа кулачка ведущего колеса экскаватора ЭКГ–5А из стали 35ХМЛ, а также оценка распределения твердости и наличия дефектов по высоте слоя при последовательном охлаждении наплавляемых валиков и при отсутствии их охлаждения перед нанесением последующего валика при многослойной наплавке.

Ключевые слова: ведущее колесо, кулачки, электродуговая наплавка, многослойная наплавка, ферромагнитная шихта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сerezкин М.А. Восстановление электродуговой наплавкой с ферромагнитной шихтой кулачков ведущего колеса экскаватора ЭКГ–5А / М.А. Сerezкин, Д.В. Андреева // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. –2019. –№ 1 (333). –С. 46–52.
2. Глазунов, С.Н. Модернизированное оборудование для восстановления деталей машин с горизонтальной осью вращения / С.Н. Глазунов, В.Г. Вялков, П.А. Цирков // Труды ГОСНИТИ. –2014. –Т. 117. –С.256–261.
3. Вялков, В.Г. Восстановление электродуговой наплавкой с ферромагнитной шихтой коренных и шатунных шеек коленчатого вала двигателя автомобиля «КАМАЗ» / В.Г. Вялков., С.Н. Глазунов, Л.Д. Варламова, П.А. Цирков // Труды ГОСНИТИ. –2016. –Т. 123. –С.140–152.
4. Вялков, В.Г. Расчет химического состава наплавочных материалов и наплавленного слоя при электродуговой наплавке ферромагнитной шихтой / В.Г. Вялков, С.Н. Глазунов, П.А. Цирков // Труды ГОСНИТИ. –2018. –Т. 130. –С.232–237.
5. Цирков, П.А. Способ выбора наплавочных материалов и режимов наплавки гладких поверхностей изделий из легированных сталей, работающих в агрессивных средах в условиях циклического термомеханического нагружения / П.А. Цирков, В.Г. Вялков, С.Н. Глазунов, Б. Ф. Якушин // Труды ГОСНИТИ. –2018. –Т. 130. –С.159–162.

Сerezкин Михаил Александрович
Московский государственный
технический университет им. Н.Э.
Баумана
Кандидат технических наук, доцент
кафедры «Технологии обработки
материалов»
105005, Москва, 2-я Бауманская ул.,
5, стр. 1
Тел.: +7 (499) 267–00–96
E-mail: serezhkin@bmstu.ru

Андреева Дарья Владимировна
Московский государственный
технический университет им.
Н.Э. Баумана
Магистр кафедры «Технологии
обработки материалов»
105005, Москва, 2-я Бауманская
ул., 5, стр. 1
Тел.: +7 (499) 267–00–96
E-mail:
andreeva2797@outlook.com

Глазунов Сергей Николаевич
Московский государственный
технический университет им.
Н.Э. Баумана
Кандидат технических наук,
доцент кафедры «Технологии
обработки материалов»
105005, Москва, 2-я
Бауманская ул., 5, стр. 1
Тел.: +7 (499) 267–00–96
E-mail: mt13@bmstu.ru

M.A. SEREZHKIN, D.V. ANDREEVA, S.N. GLAZUNOV

RESTORATION OF CAMS OF THE DRIVING WHEEL AN EXCAVATOR EKG–5A BY MULTI-LAYER ELECTRIC ARC WELDING USING FERROMAGNETIC CHARGE

Abstract. *The article is devoted to determining the number of deposited layers by the method of electric arc welding using a ferromagnetic charge in the case of eliminating wear on the cam of the drive wheel of the EKG–5A excavator from 35KhML steel. As well as assessing the distribution of hardness and the presence of defects along the layer height during sequential cooling of the deposited rollers and in the absence of cooling before by applying a subsequent roll in multilayer surfacing.*

Keywords: *drive wheel, cams, electric arc welding, multilayer welding, ferromagnetic charge.*

BIBLIOGRAPHY

1. Serezhkin M.A. Restoration by electric arc welding with a ferromagnetic charge cams of the driving wheel an excavator EKG–5A / M.A. Serezhkin, D.V. Andreeva // Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology, 2019. No. 1 (333). pp. 46–52.
2. Glazunov S.N. Upgraded equipment for restoring machine parts with a horizontal axis of rotation / S.N. Glazunov, V.G. Vyalkov, P.A. Tsirkov // Proceedings of GOSNITI, 2014. T. 117. pp. 256–261.
3. Vyalkov V.G. Restoration by electric arc welding with a ferromagnetic charge of the main and connecting rod necks of the crankshaft of the KAMAZ automobile engine / V.G. Vyalkov., S.N. Glazunov, L.D. Varlamova, P.A. Tsirkov // Proceedings of GOSNITI. 2016. T. 123. pp. 140–152.

4. Vyalkov V.G. Calculation of the chemical composition of the surfacing materials and the deposited layer during electric arc surfacing with a ferromagnetic charge / V.G. Vyalkov, S.N. Glazunov, P.A. Tsirkov // Proceedings of GOSNITI. 2018. T. 130. pp.232–237.

5. Tsirkov P.A. A method for selecting surfacing materials and surfacing modes for smooth surfaces of alloy steel products operating in aggressive environments under cyclic thermomechanical loading / P.A. Tsirkov, V.G. Vyalkov, S.N. Glazunov, B.F. Yakushin // Proceedings of GOSNITI. 2018. T. 130. P.159–162.

Serezhkin Mikhail Aleksandrovich
Bauman Moscow State Technical
University
Candidate of Technical Science,
Associate Professor of Department
«Technologies of material working»
105005, Moscow, 2-ya
Baumanskaya, 5
Tel.: +7 (499) 267–00–96
E-mail: serezhkin@bmstu.ru

Andreeva Daria Vladimirovna
Bauman Moscow State Technical
University
Master of Department «Technologies
of material working»
105005, Moscow, 2-ya
Baumanskaya, 5
Tel.: +7 (499) 267–00–96
E-mail: andreeva2797@outlook.com

Glazunov Sergey Nikolaevich
Bauman Moscow State Technical
University
Candidate of Technical Science,
Associate Professor of Department
«Technologies of material working»
105005, Moscow, 2-ya
Baumanskaya, 5
Tel.: +7 (499) 267–00–96
E-mail: mt13@bmstu.ru

УДК 621.9

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-340-2-50-61

Е.М. СЕЛЕМЕНЕВА, А.А. ЧЕРЕПЕНЬКО, А.Н. ТКАЧЕНКО, Л.Ю. ФРОЛЕНКОВА

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Аннотация. В статье рассмотрены операции влажно – тепловой обработки (ВТО) являющиеся специальной обработкой деталей теплом и давлением. Изучены закономерности изменения геометрических размеров сложнопрофильных рабочих поверхностей при эксплуатации. Разработаны математические модели неэквидистантности сложнопрофильных рабочих поверхностей.

Ключевые слова: математическая модель, неэквидистантность, сложнопрофильные рабочие поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эппель С. С. Оборудование для влажно–тепловой обработки в швейном производстве. – М.: Легкая индустрия, 1970. – 152 с.
2. Бурмистенков А. П. Исследование теплопередачи от рабочих органов оборудования с целью совершенствования процесса тепловой обработки швейных изделий Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата техн. наук. – Киев: КТИЛП, 1972. – 33 с.
3. Ландау Л. Д., Лившиц Е. М. Теория упругости. – М.: Наука, 1987. – 250 с.
4. Баландин А. Д Синтез и анализ поверхностей сложной формы // Станки инструмент – 1988. – №3. – С. 16–18.
5. Рашевский П. К. Риманова геометрия и тензорный анализ. – М.: Наука, 1966. – 648 с.
6. Погорелов А. В. Дифференциальная геометрия. М.: ГИТТЛ, 1956 – 259 с.
7. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математике. – М.: Наука, 1958. – 263 с.
8. Дружинский И. А. Сложные поверхности: математическое описание и технологическое обеспечение: Справочник. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1985. – 263 с.
9. Альберг Дж., Нильсон Э., Уолш Дж. Теория сплайнов и ее приложения. М.: Мир, 1972. – 316 с.
10. Розенфельд Б. А. Многомерные пространства. М.: Наука, 1974. – 176 с.

Селеменова Елена Михайловна
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, студентка
Тел.: +79102036687
E-mail: SelemenewaL@mail.ru

Черепенько Аркадий Анатольевич
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, доктор технических
наук, профессор кафедры Машиностроение
Тел.: +79107486625
E-mail: arkan@nxt.ru

Ткаченко Артем Николаевич
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, кандидат технических
наук, доцент кафедры машиностроения
Тел.: +79606436332

Фроленкова Лариса Юрьевна
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, доктор технических
наук, профессор кафедры Машиностроение
Тел.: +79103017320

E.M. SELEMENEVA, A.A. CHEREPENKO, A.N. TKACHENKO, L.Yu. FROLENKOVA

MATHEMATICAL MODEL OF NON-EQUILIBILITY OF COMPLEX PROFILE WORKING SURFACES

Abstract. *The article deals with the operation of wet – heat treatment (WTO), which are special processing of parts by heat and pressure. The regularities of changing the geometric dimensions of complex-profile work surfaces during operation are studied. Mathematical models of non-equidistance of complex-profile work surfaces have been developed.*

Keywords: *mathematical model, nonequidistance, complex profile work surfaces.*

BIBLIOGRAPHY

1. Eppel S. S. Equipment for wet-heat treatment in the clothing industry. – M.: Light Industry, 1970. – 152 p.
2. Burmistenkov A. P. Research of heat transfer from the working bodies of equipment with the aim of improving the process of heat treatment of garments. Abstract of dissertation for the degree of candidate tech. sciences. – Kiev: CTILP, 1972.– 33 p.
3. Landau L. D., Livshits E. M. Theory of elasticity. – M.: Nauka, 1987.— 250 p.
4. Balandin A. D Synthesis and analysis of surfaces of complex shape // Machine tools – 1988. – No. 3. – S. 16–18.
5. Rashevsky P. K. Rimanova geometry and tensor analysis. – M.: Nauka, 1966.— 648 p.
6. Pogorelov A. V. Differential geometry. M.: GITTL, 1956 – 259 p.
7. Vygodsky M. Ya. Handbook of higher mathematics. – M.: Nauka, 1958.– 263 p.
8. Druzhinsky I. A. Complex surfaces: mathematical description and technological support: a Handbook. – L.: Mechanical engineering, Leningrad branch, 1985.— 263 p.
9. Alberg J., Nielson E., Walsh J. Theory of splines and its applications. M.: Mir, 1972.– 316 p.
10. Rosenfeld B. A. Multidimensional spaces. M.: Nauka, 1974.– 176 p.

Selemeneva Elena Mikhailovna

Oryol State University
named after I.S. Turgeneva, student
Tel.: +79102036687
E-mail: SelemenevaL@mail.ru

Cherepenko Arkady Anatolyevich

Oryol State University
named after I.S. Turgeneva, Doctor of Technical
Sciences, Professor, Department of Mechanical
Engineering
Phone: +7 910 7486625
E-mail: arkan@nxt.ru

Tkachenko Artem Nikolaevich

Oryol State University
named after I.S. Turgeneva, candidate of technical
sciences, associate professor of mechanical engineering
Tel: +79606436332
artyom270286@yandex.ru

Frolenkova Larisa Yuryevna

Oryol State University
named after I.S. Turgeneva, Doctor of Technical
Sciences, Professor, Department of Mechanical
Engineering
Tel.: + 79103017320
E-mail: laraflenkova@yandex.ru

УДК: 621.9

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-340-2-62-67

Г.В. БАРСУКОВ, В.С. ШОРКИН, О.Г. КОЖУС, Т.А. ЖУРАВЛЕВА

РАСЧЕТ КОНТАКТА КОМПОЗИТНОГО АБРАЗИВА СО СТЕНКАМИ СОПЛА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ СНИЖЕНИЕ ИЗНОСА ФОКУСИРУЮЩЕЙ ТРУБКИ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ УСТАНОВКИ

Аннотация. *Авторами статьи для решения проблемы получения эффективного композитного абразивного материала, позволяющего сохранить фокусирующую трубку и повысить режущие возможности гидроабразивной струи, получены теоретические зависимости, устанавливающие взаимосвязь прочности соединения абразив-полимер с режимами его получения.*

Ключевые слова: *гидроабразивное резание, абразивное зерно, фокусирующая трубка, покрытие, полимерная оболочка.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инновационные технологии резания сверхзвуковой струей жидкости: экономика, рынок, состояние и перспективы развития / Е.Ю. Степанова, О.Г. Кожус, Г.В. Барсуков // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2017. – №. 1. – С. 243–253.
2. Исследование абразивной способности искусственных и природных абразивов, обеспечивающих производительность гидроабразивного резания / О.Г. Кожус, Г.В. Барсуков, А.Ю. Винокуров // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – Т. 1. – №. 2. – С. 34–40.
3. Исследование механизма смешивания компонентов абразивной смеси для гидроабразивного резания / Г.В. Барсуков, О.Г. Кожус, С.А. Шманев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2019. – №. 3. – С. 61–68.
4. Применение наномодифицированного абразива для гидроабразивного резания элементов кузова автомобилей из стеклопластика / О.Г. Кожус, Г.В. Барсуков, Т.А. Журавлева // Мир транспорта и технологических машин. – 2016. – №. 2. – С. 45–52.
5. Barsukov G., Zhuravleva T., Kozhus O. Methodics of Quality of Hydroabrasive Waterjet Cutting Machinability Assessment // International Conference on Industrial Engineering. – Springer, Cham, 2018. – P. 1677–1685.
6. Barsukov, G., Zhuravleva, T., & Kozhus, O. (2017, January). Increasing of efficiency of environmentally friendly technology of AWJ of a glass fiber plastic. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 50, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.
7. Barsukov, G., T. Zhuravleva, and O. Kozhus. «Quality of Hydroabrasive Waterjet Cutting Machinability.» Procedia Engineering 206 (2017): 1034–1038.
8. Жизненный цикл абразивного зерна в полимерной оболочке / Г.В. Барсуков, В.С. Шоркин, Л.Ю. Фроленкова, О.Г. Кожус, С.В. Кожус // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2019. – №6 (338). – С.72–79.
9. Тищенко, Л. А. Износ соплового насадка в технологических системах гидроабразивной обработки материалов / Л.А. Тищенко // Машиностроение и компьютерные технологии. – 2013. – №. 11.
10. Яблуновский, Я.Ю. Повышение эффективности гидроабразивной обработки на основе учета энергии двухфазной режущей струи : автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.02.07/ Яблуновский Я.Ю. – Рыбинск, 2012. – 16 с.

Барсуков Геннадий Валерьевич

ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»

г. Орел

доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения

302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95

Тел.: + 7 (4862) 413295

E-mail: awj@list.ru

Шоркин Владимир Сергеевич

ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»

г. Орел

доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры технической физики и математики

Тел. +7 (960) 655-00-77

E-mail: VSorkin@yandex.ru

Кожус Ольга Геннадьевна

ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»

г. Орел

вед. инж.

302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95

Тел.: + 7 (4862) 413295

E-mail: okozhus@mail.ru

Журавлева Татьяна Александровна

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э.Баумана

г. Калуга

доцент кафедры «Технология машиностроения»

248000, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2.

Тел.: +7(4842) 74-40-32

E-mail: awj@list.ru

G.V. BARSUKOV, V.S. SHORKIN, O.G. KOZHUS, T.A. ZHURAVLEVA

CALCULATION OF CONTACT OF COMPOSITE ABRASIVE WITH NOZZLE WALLS, ENSURING REDUCING THE WEAR OF THE FOCUSING TUBE OF AN ABRASIVE WATERJET INSTALLATION

Abstract. *The authors of the article to solve the problem of obtaining an effective composite abrasive material that allows preserving the focusing tube and increasing the cutting capabilities of the hydroabrasive jet, obtained theoretical dependences that establish the relationship between the strength of the abrasive-polymer joint and the modes of its production..*

Keywords: *Abrasive waterjet cutting, abrasive grain, focusing tube, coating, polymer coating.*

BIBLIOGRAPHY

1. Barsukov, G. V. Determination of performance of waterjet cutting taking into account characteristics of abrasive grain [Text] / G. V. Barsukov, A.V. Mikheev // Handbook. Engineering journal. – 2008. – No. 1. – Pp. 9–14.
2. Polyansky, S. N. Technology and equipment of waterjet cutting [Text] / S. N. Polyansky, A. S. Nesterov // Vestnik mashinostroeniya. – 2004. – No. 5. – Pp. 43–46.

3. Peremyshchev, V. V. on the influence of physical and mechanical properties of abrasive material on performance [Text] / V. V. Peremyshchev, V. M. Shumyacher // processes of abrasive processing, abrasive tools and materials. – 2001. Pp. 66–67.
4. Barsukov, G. V. Research of abrasive ability of artificial and natural abrasives providing productivity of hydroabrasive cutting [Text] / G. V. Barsukov, O. G. Kozhus, A. Yu. Vinokurov // Fundamental and applied problems of technique and technology. – 2018. – No. 2. Pp. 34–41.
5. Barsukov G., Zhuravleva T., Kozhus O. Increasing Of Efficiency Of Environmentally Friendly Technology Of AWJ Of a Glass Fiber Plastic // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2017. – T. 50. – no. 1. – Pp. 012001.
6. Barsukov G., Zhuravleva T., Kozhus O. Quality of Hydroabrasive Waterjet Cutting Machinability // Procedia Engineering. – 2017. – T. 206. – Pp. 1034–1038.
7. Schlichting, G. boundary layer Theory / G. Schlichting. – Moscow: Nauka, 1974. – 712 PP.
8. Bartenev, V. G. the Physics of polymers / V. G. Bartenev, S. Ya. Frenkel. – Leningrad: publishing house Chemistry, 1990. – 432 PP.
9. Babaevsky, P. G. Adhesive interaction of hard surfaces and the creation of polymer «dry» adhesives. Theoretical aspects [Text] / P. G. Babaevsky, A. A. Zhukov, S. Yu. Shapoval, E. A. Grinkin // Nano–and microchip technology. – 2006. – No. 2. – Pp. 2–8.
9. Tishchenko, L. A. Wear nozzle nozzle in technological systems for waterjet materials [Text] / L.A. Tishchenko // Mechanical Engineering and Computer Technology. – 2013. – No. eleven.
10. Yablunovsky, Y. Yu. Improving the efficiency of waterjet processing based on the energy of a two–phase cutting jet [Text]: author. dis. for a job. scientist step. Cand. tech. Sciences: 05.02.07 / Yablunovsky Ya.Yu. – Rybinsk, 2012.— 16 p.

Barsukov Gennady Valeryevich

Orel State University, Orel
 Doctor of Technical Sciences, Professor of the
 Department of Mechanical Engineering
 302026, Orel, Komsomolskaya st, 95
 Ph.: + 7 (4862) 413295
 E-mail: awj@list.ru

Shorkin Vladimir Sergeevich

Orel State University, Orel
 Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,
 Professor of the Department of Technical Physics and
 Mathematics
 302026, Orel, Komsomolskaya st, 95
 Ph.: +7 (960) 655–00–77
 E-mail: VSorkin@yandex.ru

Kozhus Olga Gennadiyevna

Orel State University, Orel
 Leading Engineer
 302026, Orel, Komsomolskaya st, 95
 Ph.: + 7 (4862) 413295
 E-mail: okozhus@mail.ru

Zhuravleva Tatyana Alexandrovna

Kaluga branch of the Bauman MSTU named
 N. E. Bauman, Kaluga
 associate Professor of the Department of mechanical
 engineering Technology»
 248000, Kaluga, Bazhenov str., 2.
 Phone: +7 (4842) 74–40–32
 E-mail: awj@list.ru

УДК 621.9

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-340-2-68-72

С.В. КУДРЯВЦЕВ, А.С. ТАРАПАНОВ, Д.О. ЗОЛКИН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОЦЕССА РАЗВЕРТЫВАНИЯ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Аннотация. В статье приведен сравнительный анализ методов измерения температуры, гидравлический и термодинамический расчеты установки для определения температуры при разворачивании рабочей части инструмента. Разработан автоматизированный лабораторный комплекс. Установлено, что его работа позволяет получать в режиме реального времени изменение температуры в зоне резания при сравнительно низких скоростях резания. Описан процесс работы автоматизированного комплекса, характеристики материала трубопровода и теплоносителя при рабочей температуре. Подобран материал трубопровода и высокотемпературный теплоноситель, отвечающие параметрам работы комплекса. Представлена блок–схема функциональных элементов комплекса, графики зависимостей потерь давления напора от коэффициента местных сопротивлений, тепловых потерь от температуры теплоносителя. Достоверность результата проверялась с помощью автоматизированного комплекса в режиме реального времени, позволяющего оценивать относительное изменение температуры в зоне резания.

Ключевые слова: резание, разворачивание, низкоскоростные процессы механической обработки, температура резания, автоматизированный комплекс, теплообменник, высокотемпературный теплоноситель, методы определения температуры

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верещака А.С. Резание материалов: Учебник / А.С. Верещака, В.С. Кушнер. – М.: Высш. шк., 2009 – 535 с.: ил.
2. Безъязычный В.Ф. Основы технологии машиностроения: Учебник / В.Ф. Безъязычный. – М.: Машиностроение, 2013. – 568 с.: ил.
3. Патент РФ № 2017101479 17.01.2017. Устройство стендового автоматизированного лабораторного комплекса для изучения политропного процесса и комбинированного теплообмена // Патент России №2656196. 2018. / Бодров В.К., Ванин В.С., Кудрявцев С.В. [и др].
4. Патент РФ № 2017111455 14.06.2016. Устройство стендового автоматизированного лабораторного комплекса для изучения процессов теплообмена // Патент России №2668415. 2018. / Бодров В.К., Ванин В.С., Кудрявцев С.В. [и др.].
5. Развёртывание (технич.) // Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е изд. – М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.
6. Методы измерения температур в зоне резания [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://studfile.net/preview/2657146/page:11/>.
7. Кудрявцев С.В. Определение относительных изменений температуры параметров процесса развёртывания при применении нанопокровов на режущую часть инструмента/ Тарапанов А.С., Селеменев М.Ф. // Фундаментальные и прикладные проблемы науки и технологии. – 2019.– № 6 (338). – 53–58 с.
8. Влияние различных факторов на температуру в зоне резания [Электронный ресурс]: режим доступа: https://studopedia.ru/6_150903_vliyanie-razlichnih-faktorov-na-temperaturu-v-zone-rezaniya.html.
9. Эквивалентный диаметр при расчёте трубы [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://ence-pumps.ru/truboprovody/>.
10. Расчёт теплотерь в трубопроводе [Электронный ресурс]: режим доступа: <http://www.heat-system.ru/ru/raschet-teplovyyh-poter-v-truboprovode/index.php>
11. Бийскорг синтез [Электронный ресурс]: Высокотемпературный теплоноситель ТЛВ–330; режим доступа: <https://tlv-330.ru/tlv-330>

Кудрявцев Сергей Васильевич
Орловский государственный
университет имени И.С.
Тургенева, аспирант
г. Орёл ул. Московская д. 34
Тел.: +79208181016
E-mail: sla1der123@yandex.ru

Тарапанов Александр Сергеевич
Орловский государственный
университет
имени И.С. Тургенева, доктор
технических наук, профессор кафедры
машиностроение
г. Орёл ул. Московская д. 34
Тел.: +79202877774
E-mail: awj@list.ru

Золкин Денис Олегович
Орловский государственный
университет имени И.С.
Тургенева, аспирант
г. Орёл ул. Московская д. 77
Тел.: +79103033723
E-mail: zaliman777@mail.ru

S.V. KUDRYAVTSEV, A.S. TARAPANOV, D.O. ZOLKIN

DETERMINATION OF TEMPERATURE OF THE DEPLOYMENT PROCESS IN REAL TIME

Abstract. *The article provides a comparative analysis of temperature measurement methods, hydraulic and thermodynamic calculations. An automated laboratory complex has been developed. It has been established that its operation makes it possible to obtain a temperature change in real time. The operation process of the automated complex, the characteristics of the pipeline material and the coolant at the operating temperature are described. Similar pipeline material and a high-temperature coolant that meets the parameters of the complex. A block diagram of the functional elements of the complex, graphs of the dependences of the pressure loss on the coefficient of local resistance, heat loss on the temperature of the coolant are presented. The reliability of the result was checked using an automated system in real time, allowing to evaluate the relative temperature change in the cutting zone.*

Keywords: *cutting, deployment, low-speed machining processes, cutting temperature, automated complex, heat exchanger, high-temperature coolant, methods for determining temperature.*

BIBLIOGRAPHY

1. Vereshchaka A.S. Cutting materials: Textbook / A.S. Vereshchaka, V.S. Kushner. – M.: Higher. school., 2009 – 535 p.: ill.
2. Bezyazichniy V.F. Fundamentals of engineering technology: Textbook / V.F. Bezyazichniy. – M.: Mechanical Engineering, 2013.— 568 p.: Ill.
3. RF patent No. 2017101479 01/17/2017. The device bench automated laboratory complex for the study of polytropic process and combined heat transfer // Patent of Russia №2656196. 2018./ Bodrov V.K., Vanin V.S., Kudryavtsev S.V. [and etc].
4. RF patent No. 2017111455 06/14/2016. The device bench automated laboratory complex for studying the processes of heat transfer // Patent of Russia №2668415. 2018./ Bodrov V.K., Vanin V.S., Kudryavtsev S.V. [and etc].

5. Deployment (tech.) // The great Soviet encyclopedia: [30 t] / chief editor A. M. Prokhorov. – 3rd ed. – Moscow: Soviet encyclopedia, 1969–1978
6. Methods for measuring temperatures in the cutting zone [Electronic resource]: access mode: <https://studfile.net/preview/2657146/page:11/>.
7. Kudryavtsev S.V. Determination of relative temperature changes in the parameters of the deployment process when applying nanocoatings on the cutting part of the tool / Tarapanov A.S., Selemenov M.F. // Fundamental and applied problems of science and technology. – 2019. – No. 6 (338). – 53–58 p.
8. The influence of various factors on the temperature in the cutting zone [Electronic resource]: access mode: https://studopedia.ru/6_150903_vliyanie-razlichnih-faktorov-na-temperaturu-v-zone-rezaniya.html.
9. Equivalent diameter to the pipe calculation [Electronic resource]: access mode: <https://ence-pumps.ru/truboprovody/>.
10. Calculation of heat losses in the pipeline [Electronic resource]: access mode: <http://www.heat-system.ru/ru/raschet-teplovyyh-poter-v-truboprovode/index.php>
11. Biyskorg synthesis [Electronic resource]: High-temperature coolant TLV-330; access mode: <https://tlv-330.ru/tlv-330>

Kudryavtsev Sergey Vasilievich
Oryol State University named after I.S. Turgenev,
graduate student
Oryol city, Moskovskaya street, 34
Tel.: +79208181016
E-mail: sla1der123@yandex.ru

Tarapanov Alexander Sergeevich
Oryol State University named after I.S. Turgenev,
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Department of Mechanical Engineering
Oryol city, Moskovskaya street, 34
Phone: + 79202877774
E-mail: awj@list.ru

Zolkin Denis Olegovich
Oryol State University named
after I.S. Turgenev,
graduate student
Oryol city, Moskovskaya
street, 77
Tel.: +79103033723
E-mail: zaliman777@mail.ru

УДК 621.787.4

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-340-2-73-79

А.Н. ТКАЧЕНКО, Е.М. СЕЛЕМЕНЕВА, А.В. ШАМРИН,
А.А. ЧЕРЕПЕНЬКО, Л.Ю. ФРОЛЕНКОВА

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МЕДИ ОБРАБОТАННЫХ КОМБИНИРОВАННЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Аннотация. В статье рассмотрена математическая модель шероховатости поверхности электротехнических деталей из меди, обработанных комбинированным инструментом с продольным расположением инструментов для токарной обработки и алмазного выравнивания с изучением закономерностей формирования микрорельефа при механической обработке и пластическом деформировании медной поверхности. Экспериментально доказана актуальность и научная значимость работы и необходимость учета одной из составляющих шероховатостей при расчётах других комбинированных инструментов.

Ключевые слова: шероховатость обработанной поверхности, комбинированный инструмент, алмазное выравнивание, точение, обработка меди.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сулов, А. Г. Научные основы технологии машиностроения / А. Г. Сулов, А. М. Дальский. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.
2. Одинцов, Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием : справочник / Л. Г. Одинцов. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
3. Одинцов, Л. Г. Финишная обработка деталей алмазным выравниванием и вибровыравниванием / Л. Г. Одинцов. – М.: Машиностроение, 1981. – 160 с.
4. Торбило, В. М. Алмазное выравнивание / В. М. Торбило. – М.: Машиностроение, 1972. – 105 с.
5. Кирилин, Ю. В. Расчёт и проектирование шпиндельных узлов металлорежущих станков с опорами качения : учеб. пособие / Ю. В. Кирилин, А. В. Шестерников. – Ульяновск: УлГТУ, 1998. – 72 с.
6. Колганов, И. М. Проектирование приспособлений, прочностные расчёты, расчёт точности сборки : учеб. пособие / И. М. Колганов, В. В. Филипов. – Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 99 с.
7. Горшков, А. Г. Сопротивление материалов : учеб. пособие / А. Г. Горшков, В. Н. Трошин, В. И. Шалашилин. – 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 544 с.
8. Ткаченко, А. Н. Математическая модель шероховатости поверхности электротехнических деталей из меди, обработанных комбинированным инструментом для фрезерования и алмазного выравнивания / А. Н. Ткаченко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – № 2–4 (292). – С. 58–65.
9. Stepanov Y. S., Simulator of surface roughness in electrical copper parts machined by combined tool / Y. S. Stepanov, A. N. Tkachenko, A. A. Simakov // Вестник государственного инженерного университета Армении. Серия: Механика, машиноведение, машиностроение. – 2012. – № 2. – С. 84–93.

10. Устройство для обработки плоских торцевых поверхностей заготовок деталей из мягких сталей / В. В. Мудров, В. И. Сотников, А. Н. Ткаченко: пат. 2350435 С1 РФ. № 2007120955/02; заявл. 04.06.2007; опубл. 27.03.2009. Бюл. №9. – 6 с.

11. Устройство для обработки плоских торцов заготовок из мягких сталей / В. В. Мудров, В. И. Сотников, А. Н. Ткаченко: пат. 2350458 С1 РФ. № 2007120987/02; заявл. 04.06.07; опубл. 27.03.09, Бюл. № 9. – 6 с.

12. Фреза комбинированная для обработки плоских торцевых поверхностей заготовок деталей из мягких материалов / В. В. Мудров, В. И. Сотников, А. Н. Ткаченко: пат. 2338631 С1 РФ. № 2007120954/02; заявл. 04.06.2007; опубл. 20.11.2008. Бюл. № 32. – 6 с.

Ткаченко Артем Николаевич

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, кандидат технических
наук, доцент кафедры машиностроения
Тел.: +79606436332
artyom270286@yandex.ru

Селеменова Елена Михайловна

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, студентка
Тел.: +79102036687
E-mail: SelemenewaL@mail.ru

Шамрин Алексей Вячеславович

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, студент
Тел.: +79534735325
E-mail: Alexei.shamrin@yandex.ru

Черепенько Аркадий Анатольевич

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, доктор технических
наук, профессор кафедры Машиностроение
Тел.: +79107486625
E-mail: arkan@nxt.ru

Фроленкова Лариса Юрьевна

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, доктор технических
наук, профессор кафедры Машиностроение
Тел.: +79103017320
E-mail: larafrolenkova@yandex.ru

A.N. TKACHENKO, E.M. SELEMENEVA, A.V. SHAMRIN,
A.A. CHEREPENKO, L.Yu. FROLENKOVA

**MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE SURFACE
ROUGHNESS OF ELECTROTECHNICAL DETAILS FROM COPPER
PROCESSED BY COMBINED TOOL**

Abstract. *The article considers a mathematical model of the surface roughness of electrotechnical details from copper processed by combined tool with a longitudinal arrangement of tools for turning and diamond smoothing with a study of the patterns of microrelief formation during machining and plastic deformation of a copper surface. Experimentally have been proved the relevance and scientific significance of the work and the need to take into account one of the component roughnesses in the calculations of other combined tools*

Keywords: *surface roughness, combined tool, diamond smoothing, turning, copper processing.*

BIBLIOGRAPHY

1. Suslov A. G., *Scientific Fundamentals in Engineering Technique* [Text] / A. G. Suslov, A. M. Dalsky. – M.: Mechanical Engineering, 2002, pp. 684.
2. Odintsov L. G., *Strengthening and Finishing Parts by Surface Plastic Forming* [Text] Reference Book / L. G. Odintsov. – M.: Mechanical Engineering, 1987, pp. 328.
3. Odintsov L. G., *Parts Finishing by Diamond Smoothing and Vibration Smoothing* [Text] / L. G. Odintsov. – M.: Mechanical Engineering, 1981. – Pp. 160.
4. Torbilo V. M., *Diamond Smoothing* [Text] / V. M. Torbilo. – M.: Mechanical Engineering, 1972, pp. 105.
5. Kirillin Y. V., *Calculation and design of spindle assemblies of metal-cutting machines with rolling bearings* [Text]: Manual / Y. V. Kirillin, A. V. Shesternikov. – Ulyanovsk: UISTU, 1998. – Pp. 72.
6. Kolganov I. M. *Device Designing, Structural Computation, Close Fitting Computation*, [Text]: Manual / I. M. Kolganov, V. V. Filipov. – Ulyanovsk: UISTU, 2000. – Pp. 99.
7. Gorshkov A. G., *Strength of materials* [Text]: Manual / A. G. Gorshkov, V. N. Troshin, V. I. Shalashilin. – 2nd ed., Rev. – M.: FIZMATLIT, 2005. – Pp. 544.
8. Tkachenko, A.N. *Mathematical model of the surface roughness of electrical parts copper treated combined tool for milling and the diamond caress* [Text] / A. N. Tkachenko // “*Fundamental and Applied Problems in Engineering and Technology*”. – 2012. – No. 2–4 / (292). – S. 58–65.

9. Stepanov Y. S., *Simulator of surface roughness in electrical copper parts machined by combined tool* [Text] / Y. S. Stepanov, A. N. Tkachenko, A. A. Simakov // Proceedings of state engineering university of Armenia. Series: Mechanics, machine science, machine-building. – 2012. – № 2 (15). – Pp. 84–93.

10. Patent 2350435 C1 RF, *Device to machine flat end face surfaces of soft-steel workpieces* [Text] / V. V. Mudrov, V. I. Sotnikov, A. N. Tkachenko / № 2007120955/02; Application 04.06.2007; published 27.03.2009. Bulletin № 9. – Pp. 6.

11. Patent 2350458 C1 RF, *Device to produce flat end surfaces of soft-steel workpieces* [Text] / V. V. Mudrov, V. I. Sotnikov, A. N. Tkachenko / № 2007120987/02; Application 04.06.2007; published 27.03.2009. Bulletin № 9. – Pp. 6.

12. Patent 2338631 C1 RF, *Combines milling cutter for machining soft material workpiece faces* [Text] / V. V. Mudrov, V. I. Sotnikov, A. N. Tkachenko / № 2007120954/02; Application 04.06.2007; published 20.11.2008. Bulletin № 32. – Pp. 6.

Tkachenko Artem Nikolaevich

Oryol State University named after I.S. Turgeneva,
candidate of technical sciences, associate professor of
mechanical engineering
Tel.: +79606436332
artyom270286@yandex.ru

Selemeneva Elena Mikhailovna

Oryol State University
named after I.S. Turgeneva, student
Tel.: +79102036687
E-mail: SelemenevaL@mail.ru

Shamrin Aleksey Vyacheslavovich

Oryol State University
named after I.S. Turgeneva, student
Tel.: +79534735325
E-mail: Alexei.shamrin@yandex.ru

Cherepenko Arkady Anatolyevich

Oryol State University
named after I.S. Turgeneva, Doctor of Technical
Sciences, Professor, Department of Mechanical
Engineering
Phone: +7 910 7486625
E-mail: arkan@nxt.ru

Frolenkova Larisa Yuryevna

Oryol State University
named after I.S. Turgeneva, Doctor of Technical
Sciences, Professor, Department of Mechanical
Engineering
Tel.: + 79103017320
E-mail: laraflenkova@yandex.ru

УДК 621.7.013

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-340-2-80-84

Н.В. КАНАТНИКОВ, П.А. КАНАТНИКОВА, А.С. ПАШМЕНТОВА

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СИЛЫ РЕЗАНИЯ ВОЗНИКАЮЩЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗАНИЕМ НЕЭВОЛЬВЕНТНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА ОСНОВЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Аннотация. В статье показана возможность определения поправочных коэффициентов необходимых для расчета силы резания. Для расчета поправочных коэффициентов используется модель механической обработки незвольвентных зубчатых колес, предложенная авторами. Использование такого подхода позволяет отказаться от части дорогостоящих экспериментальных исследований и сократить затраты на конструкторско-технологическую подготовку производства. Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 18–38–00037\18.

Ключевые слова: незвольвентные зубчатые колеса, аналитическое моделирование резания, численное моделирование резания, сила резания, осевые составляющие силы резания

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований №18–38–00037\18.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Recent advances in modelling of metal machining processes / P. J. Arrazola et al. // CIRP Annals–Manufacturing Technology. – 2013. – Т. 62. – №. 2. – С. 695–718.
2. An analytical predictive model and experimental validation for machining with grooved tools incorporating the effects of strains, strain-rates, and temperatures / N. Fang, I. S. Jawahir // CIRP Annals–Manufacturing Technology. – 2002. – Т. 51. – №. 1. – С. 83–86.

3. Recent advances in plasticity applications in metal machining: slip–line models for machining with rounded cutting edge restricted contact grooved tools / X. Wang, I. S. Jawahir // International Journal of Machining and Machinability of Materials. – 2007. – Т. 2. – №. 3–4. – С. 347–360.
4. Prediction of micro–milling forces with finite element method / X. Jin, Y. Altintas // Journal of Materials Processing Technology. – 2012. – Т. 212. – №. 3. – С. 542–552.
5. A hybrid cutting force model for high–speed milling of titanium alloys / Z. G. Wang et al. // CIRP Annals–Manufacturing Technology. – 2005. – Т. 54. – №. 1. – С. 71–74.
6. Predictive cutting force model in complex–shaped end milling based on minimum cutting energy / T. Matsumura, E. Usui // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2010. – Т. 50. – №. 5. – С. 458–466.
7. Cutting force prediction in drilling of titanium alloy / S. Tamura, T. Matsumura, P. J. Arrazola // Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing. – 2012. – Т. 6. – №. 6. – С. 753–763.
8. Экспериментальное исследование сил резания при обработке зубчатых колес передачи Новикова / Ю. Н. Стеблецов, А. С. Тарапанов, Г. А. Михайлов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2011. – №. 6. – С. 95–101.
9. Определение сил резания процесса нарезания зубчатых колес передачи Новикова червячными фрезами / Ю. Н. Стеблецов, А. С. Тарапанов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2010. – №. 5–2. – С. 31–34.
10. Силы резания при зубодолблении колес с внутренними зубьями неэвольвентного профиля / Р. В. Анисимов, А. С. Тарапанов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – №. 5. – С. 86–93.
11. Discrete Cutting Force Model for 5–Axis Milling with Arbitrary Engagement and Feed Direction / L. Berglind, D. Plakhotnik, E. Ozturk // Procedia CIRP. – 2017. – Т. 58. – С. 445–450.
12. Харламов, Г. А. Теория проектирования процессов лезвийной обработки / Г. А. Харламов, А. С. Тарапанов. – М.: Машиностроение, 2003.
13. Improving Efficiency of Gear Shaping of Wheels with Internal Non–involute Gears / A. Tarapanov et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2016. – Т. 127. – №. 1. – С. 012052.
14. Силы резания при зубодолблении колес с внутренними зубьями неэвольвентного профиля / Н. В. Канатников, П. А. Канатникова, С. В. Кожус, А. С. Пашментова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2019. – №. 2. – С. 27–33.

Канатников Никита Владимирович
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева» г. Орел
кандидат технических наук, доцент
кафедры машиностроения
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел.: + 7 (4862) 419895
e–mail: Nkanatnikov@yandex.ru

Канатникова Полина Андреевна
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева» г. Орел
магистр кафедры «Программная инженерия»
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
тел.: + 7 (4862) 419895
e–mail: polinakanatnikova@yandex.ru

Пашментова Анна Сергеевна
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева» г. Орел
аспирант кафедры машиностроения
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
тел.: + 7 (4862) 419895
e–mail: adjourn@yandex.ru

N.V. KANATNIKOV, P.A. KANATNIKOVA, A.S. PASHMENTOVA

THE METHOD OF CALCULATION OF THE CUTTING FORCES BY MACHINING NON–INVOLUTE GEARS ON THE BASIS OF VIRTUAL EXPERIMENTAL RESEARCHES

Abstract. *The article shows the possibility of determining the correction coefficients necessary for calculating the cutting force. To calculate the correction coefficients, we use the model of mechanical processing of nonvolvent gears proposed by the authors. Using this approach allows you to eliminate some of the expensive experimental research and reduce the cost of design and technological preparation of production.. This work was supported by the grant of the Russian Foundation for Basic Research No. 18–38–00037 \ 18.*

Keywords: *non–involute gears, analytical modeling of cutting, numerical modeling of cutting, cutting force, axial components of cutting force*

BIBLIOGRAPHY

1. Arrazola P. J. et al. Recent advances in modelling of metal machining processes // CIRP Annals–Manufacturing Technology. – 2013. – Т. 62. – №. 2. – С. 695–718.

2. Fang N., Jawahir I. S. An analytical predictive model and experimental validation for machining with grooved tools incorporating the effects of strains, strain-rates, and temperatures // CIRP Annals–Manufacturing Technology. – 2002. – Т. 51. – №. 1. – С. 83–86.
3. Wang X., Jawahir I. S. Recent advances in plasticity applications in metal machining: slip–line models for machining with rounded cutting edge restricted contact grooved tools // International Journal of Machining and Machinability of Materials. – 2007. – Т. 2. – №. 3–4. – С. 347–360.
4. Jin X., Altintas Y. Prediction of micro–milling forces with finite element method //Journal of Materials Processing Technology. – 2012. – Т. 212. – №. 3. – С. 542–552.
5. Wang Z. G. et al. A hybrid cutting force model for high–speed milling of titanium alloys //CIRP Annals–Manufacturing Technology. – 2005. – Т. 54. – №. 1. – С. 71–74.
6. Matsumura T., Usui E. Predictive cutting force model in complex–shaped end milling based on minimum cutting energy //International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2010. – Т. 50. – №. 5. – С. 458–466.
7. Tamura S., Matsumura T., Arrazola P. J. Cutting force prediction in drilling of titanium alloy //Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing. – 2012. – Т. 6. – №. 6. – С. 753–763.
8. Ctebleczov Yu. N., Tarapanov A. S., Mixajlov G. A. E`ksperimental`noe issledovanie sil rezaniya pri obrabotke zubchaty`x koles peredachi Novikova //Fundamental`ny`e i prikladny`e problemy` tekhniki i texnologii. – 2011. – №. 6. – С. 95–101.
9. Stebleczov Yu. N., Tarapanov A. S. Opreделение sil rezaniya processa narezaniya zubchaty`x koles peredachi Novikova chervyachny`mi frezami //Fundamental`ny`e i prikladny`e problemy` tekhniki i texnologii. – 2010. – №. 5–2. – С. 31–34.
10. Anisimov R. V., Tarapanov A. S. Sily` rezaniya pri zubodolbleniya koles s vnutrennimi zub`yami nee`vol`ventnogo profilya //Fundamental`ny`e i prikladny`e problemy` tekhniki i texnologii. – 2012. – №. 5. – С. 86–93.
11. Berglind L., Plakhotnik D., Ozturk E. Discrete Cutting Force Model for 5–Axis Milling with Arbitrary Engagement and Feed Direction //Procedia CIRP. – 2017. – Т. 58. – С. 445–450.
12. Xarlamov G. A., Tarapanov A. S. Teoriya proektirovaniya processov lezviynoj obrabotki. – M.: Mashinostroenie, 2003.
13. Tarapanov A. et al. Improving Efficiency of Gear Shaping of Wheels with Internal Non–involute Gears //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2016. – Т. 127. – №. 1. – С. 012052.
14. Prediction the force of cutting arising during the processing of non–evolvent bevel gears/ N.V. Kanatnikov, N. V. Kanatnikova, S.V. Kozhus, A.S. Pashmentova // Fundamental`ny`e i prikladny`e problemy` tekhniki i texnologii. – 2019. – №. 2. – С. 27–33.

Kanatnikov Nikita Vladimirovich
«OSU named after I.S. Turgenev»
Orel
Cand. of Tech. Sc., Associate
Professor of the department of
mechanical engineering
302026, Orel, Komsomolskaya st.,
95
Ph.: + 7 (4862) 419895
E–mail: NKanatnikov@yandex.ru

Kanatnikova Polina Andreevna
«OSU named after I.S. Turgenev» Orel
Master student of the department
«Software engineering»
302026, Orel, Komsomolskaya st., 95
Ph.: + 7 (4862) 419895
E–mail: polinakanatnikova@yandex.ru

Pashmentova Anna Sergeevna
«OSU named after I.S.
Turgenev» Orel
graduate student of the
department of mechanical
engineering engineering
302026, Orel, Komsomolskaya
st., 95
Ph.: + 7 (4862) 419895
E–mail: adjourn@yandex.ru

МАШИНОВЕДЕНИЕ И МЕХАТРОНИКА

УДК 004.896, 621.865

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-340-2-85-94

П.А. БЕЗМЕН

РАСШИРЕННЫЙ ФИЛЬТР КАЛМАНА, ДОПОЛНЕННЫЙ АДАПТИВНЫМ ЦИФРОВЫМ ФИЛЬТРОМ, ДЛЯ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ДАННЫХ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ

Аннотация. В статье предложено объединение расширенного фильтра Калмана и адаптивного цифрового фильтра с целью компенсации ошибки работы расширенного фильтра Калмана при выполнении комплексирования данных системы управления мобильным роботом. Статья излагает структуру и работу такого объединения, показывает конфигурацию буферной памяти адаптивного цифрового фильтра.

Ключевые слова: робототехника, мобильный робот, комплексирование данных, фильтр Калмана, адаптивный цифровой фильтр.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jatsun, S.F. Control system of the independent undersea robot / S.F. Jatsun, P.A. Bezmen, A.V. Malchikov, A.S. Jatsun // Science and Education. Materials of the II International research and practice conference – Munich, Germany: Vela–Verlag Waldkraiburg, 2012. – Vol. 1 – P. 165–170.
2. Безмен, П.А. Система управления движением мобильного шестиколесного робота / П.А. Безмен // Естественные и технические науки. – Москва: Издательство «Спутник+», 2014. – № 1. – С. 126–127.
3. Яцун, С.Ф. Математическое моделирование движения вибрационного мобильного робота с внутренней подвижной массой / С.Ф. Яцун, П.А. Безмен, Ю.Ю. Лосев // Вибрационные машины и технологии: сборник научных трудов. – Курск: КурскГТУ, 2008. – С. 241–247.
4. Яцун, С.Ф. Экспериментальное исследование движения вибрационного мобильного робота с внутренней подвижной массой / С.Ф. Яцун, П.А. Безмен, Ю.Ю. Лосев // Вибрационные машины и технологии: сборник научных трудов. – Курск: КурскГТУ, 2008. – С. 763–770.
5. Яцун, С.Ф. Динамика мобильного вибрационного робота с внутренней подвижной массой / С.Ф. Яцун, П.А. Безмен, К.А. Сапронов, С.Б. Рублев // Известия курского государственного технического университета. – Курск: ЮЗГУ, 2010. – №2 (31) – с. 21–31.
6. Безмен, П.А. Алгоритм фильтра Калмана для комплексирования данных в системе управления мобильным роботом / П.А. Безмен // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2019. – №3. – С. 82–87.
7. Безмен, П.А. Комплексирование данных системы управления мобильным роботом с использованием расширенного фильтра Калмана / П.А. Безмен // Известия Юго–Западного государственного университета. – Курск: Юго–Западный государственный университет, 2019. – №2 – С. 53–64.
8. Katoch, R. Neural network augmentation of attitude estimation using navigation satellite signal phase / R. Katoch, P. R. Mahapatra // 9th IFAC Workshop on Adaptation and Learning in Control and Signal Processing. IFAC Proceedings Volumes. – Vol. 40, Issue 13, 2007, P. 386–391.
9. Chin, L. Application of neural networks in target tracking data fusion / L. Chin // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – Vol. 30, Issue 1, 1994. – P. 281–287.
10. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс, 2–ое издание: Пер. с англ. / С. Хайкин // Москва: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
11. Widrow, B. Adaptive switching circuits / B. Widrow, M.E. Hoff // Proc. IRE WESCON Conf. Rec., part 4, 1960. – P. 96–104.
12. Plackett, R.L. Some Theorems in Least Squares / R.L. Plackett // Biometrika, Vol. 37, Issue 1–2, 1950. – P. 149–157.
13. Бычков, Б.И. Моделирование помехозащищенных речевых каналов для технических систем управления / Б.И. Бычков, А.С. Романовский, В.Я. Хартов // Радиооптика. 2016. – № 5, С. 11–25.
14. Chinaboina, R. Adaptive algorithms for acoustic echo cancellation in speech processing / Chinaboina, R., Ramkiran, D.S., Khan, H., Usha, M., Madhav, B.T.P., Srinivas, K.P., Ganesh, G.V. // International Journal of RRAS, Vol.7, Issue 1, 2011. – P. 38–42.
15. Dhiman, J. Comparison between Adaptive filter Algorithms (LMS, NLMS and RLS) / J. Dhiman, S. Ahmad, K. Gulia // International Journal of Science, Engineering and Technology Research, Vol. 2, Issue 5, 2013. – P. 1100–1103.
16. Takekawa, H. An efficient and effective variable step size NLMS algorithm / H. Takekawa, T. Shimamura, S. Jimaa // Conference Record of 42nd Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, USA, 2008. – P. 1640–1643.
17. Kumudini, S. Normalized Least Mean Square (NLMS) Adaptive Filter for Noise Cancellation / S. Kumudini, R. Sinha // International Journal of Progresses in Engineering, Management, Science and Humanities, 2015. – Vol. 1, Issue 1. – P. 49–53.
18. Ghauri, S.A. System Identification using LMS, NLMS and RLS / S.A. Ghauri, M.F. Sohail // IEEE Student Conference on Research and Development (SCoReD), 2013. – P. 65–69.
19. Ушенина, И.В. Реализация алгоритмов цифровой адаптивной фильтрации на ПЛИС / И.В. Ушенина // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – Пенза: Пензенская государственная технологическая академия, 2012. – № 5. – С. 134–138.
20. Lehmann, E.L. Theory of Point Estimation, 2nd ed. / E.L. Lehmann, G. Casella // New York: Springer–Verlag, 1998. – 590 p.
21. Pappas, T.N. Perceptual criteria for image quality evaluation / T.N. Pappas, R.J. Safranek, J. Chen // Handbook of Image and Video Processing, 2nd ed. – Oxford: Elsevier Academic Press, 2005. – P. 939–959.
22. Wang, Z. Mean squared error: Love it or leave it? A new look at signal fidelity measures / Z. Wang, A.C. Bovik // IEEE Signal Processing Magazine. Volume: 26, Issue: 1, 2009. – P. 98–117.
23. Айфичер, Э. Цифровая обработка сигналов: практ. подход / Э. Айфичер, Б.В. Джервис; [пер. с англ. И. Ю. Дорошенко, А. В. Назаренко]. – 2–е изд. – М. [и др.]: Вильямс, 2004 (ГПП Печ. Двор). – 989 с.

24. Kruse, R. L. Data structures and program design in C++ / Robert L. Kruse, Alexander J. Ryba // Prentice–Hall, 1999 – 717 p.

Безмен Пётр Анатольевич

ФГБОУ ВО Юго–Западный государственный университет г. Курск

Кандидат технических наук, доцент кафедры механики, мехатроники и робототехники

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Тел. +7(920)–264–93–24

E–mail: pbezmen@yahoo.com

P.A. BEZMEN

THE EXTENDED KALMAN FILTER AUGMENTED BY AN ADAPTIVE DIGITAL FILTER FOR DATA FUSION OF A MOBILE ROBOT CONTROL SYSTEM

Abstract. *The paper proposes the combination of the extended Kalman filter and an adaptive digital filter to compensate an operational error of the extended Kalman filter during data fusion of a mobile robot control system. The paper describes the structure and operation of such combination, shows the buffer memory configuration of an adaptive digital filter.*

Keywords: *robotics, mobile robot, data fusion, Kalman filter, adaptive digital filter.*

BIBLIOGRAPHY

1. Jatsun, S.F. Control system of the independent undersea robot / S.F. Jatsun, P.A. Bezmen, A.V. Malchikov, A.S. Jatsun // Science and Education. Materials of the II International research and practice conference – Munich, Germany: Vela–Verlag Waldkraiburg, 2012. – Vol. 1 – P. 165–170.
2. Bezmen, P.A. Movement control system of mobile six–wheeled robot / P.A. Bezmen // Natural and technical sciences. – Moscow: Publishing house «Sputnik +», 2014. – No. 1. – P. 126–127.
3. Jatsun, S.F. Mathematical modeling of the motion of a vibration mobile robot with an internal moving mass / S.F. Jatsun, P.A. Bezmen, Yu.Yu. Losev // Vibration machines and technologies: collection of scientific papers. – Kursk: Kursk State Technical University, 2008. – P. 241–247.
4. Jatsun, S.F. An experimental study of the motion of a vibration mobile robot with an internal moving mass / S.F. Jatsun, P.A. Bezmen, Yu.Yu. Losev // Vibration machines and technologies: collection of scientific papers. – Kursk: Kursk State Technical University, 2008. – P. 763–770.
5. Jatsun, S.F. Dynamics of the vibration mobile robot with internal movable mass / S.F. Jatsun, P.A. Bezmen, K.A. Sapronov, S.B. Rublev // Proceedings of the Kursk State Technical University. – Kursk: Southwest State University, 2010. – No. 2 (31) – P. 21–31.
6. Bezmen, P.A. The Kalman filter algorithm for data fusion of a mobile robot control system / P.A. Bezmen // Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology. – Orel: Orel State University named after I.S. Turgenev, 2019. – No. 3. – P. 82–87.
7. Bezmen, P.A. Integration of Mobile Robot Control System Data Using the Extended Kalman Filter / P.A. Bezmen // Proceedings of the Southwestern State University. – Kursk: Southwest State University, 2019. – No. 2 – P. 53–64.
8. Katoch, R. Neural network augmentation of attitude estimation using navigation satellite signal phase / R. Katoch, P. R. Mahapatra // 9th IFAC Workshop on Adaptation and Learning in Control and Signal Processing. IFAC Proceedings Volumes. – Vol. 40, Issue 13, 2007, P. 386–391.
9. Chin, L. Application of neural networks in target tracking data fusion / L. Chin // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – Vol. 30, Issue 1, 1994. – P. 281–287.
10. Haykin, S. Neural networks: full course, 2nd ed.: translation from English / S. Haykin // Moscow: Williams Publishing House, 2006. – 1104 p.
11. Widrow, B. Adaptive switching circuits / B. Widrow, M.E. Hoff // Proc. IRE WESCON Conf. Rec., part 4, 1960. – P. 96–104.
12. Plackett, R.L. Some Theorems in Least Squares / R.L. Plackett // Biometrika, Vol. 37, Issue 1–2, 1950. – P. 149–157.
13. Bychkov, B.I. Noise–Free Speech Channel Modeling for Technical Control Systems / B.I. Bychkov, A.S. Romanovskii, V. Ya. Khartov // Radiooptics, No. 5, 2016. – P. 11–25.

14. Chinaboina, R. Adaptive algorithms for acoustic echo cancellation in speech processing / Chinaboina, R., Ramkiran, D.S., Khan, H., Usha, M., Madhav, B.T.P., Srinivas, K.P., Ganesh, G.V. // International Journal of RRAS, Vol.7, Issue 1, 2011. – P. 38–42.
15. Dhiman, J. Comparison between Adaptive filter Algorithms (LMS, NLMS and RLS) / J. Dhiman, S. Ahmad, K. Gulia // International Journal of Science, Engineering and Technology Research, Vol. 2, Issue 5, 2013. – P. 1100–1103.
16. Takekawa, H. An efficient and effective variable step size NLMS algorithm / H. Takekawa, T. Shimamura, S. Jimaa // Conference Record of 42nd Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, USA, 2008. – P. 1640–1643.
17. Kumudini, S. Normalized Least Mean Square (NLMS) Adaptive Filter for Noise Cancellation / S. Kumudini, R. Sinha // International Journal of Progresses in Engineering, Management, Science and Humanities, 2015. – Vol. 1, Issue 1. – P. 49–53.
18. Ghauri, S.A. System Identification using LMS, NLMS and RLS / S.A. Ghauri, M.F. Sohail // IEEE Student Conference on Research and Development (SCORed), 2013. – P. 65–69.
19. Ushenina, I.V. FPGA-based implementation of digital adaptive filtering algorithms / I.V. Ushenina // XXI century: Resumes of the Past and Challenges of the Present plus. – Penza: Penza State Technological Academy, 2012. – No. 5. – P. 134–138.
20. Lehmann, E.L. Theory of Point Estimation, 2nd ed. / E.L. Lehmann, G. Casella // New York: Springer-Verlag, 1998. – 590 p.
21. Pappas, T.N. Perceptual criteria for image quality evaluation / T.N. Pappas, R.J. Safranek, J. Chen // Handbook of Image and Video Processing, 2nd ed. – Oxford: Elsevier Academic Press, 2005. – P. 939–959.
22. Wang, Z. Mean squared error: Love it or leave it? A new look at signal fidelity measures / Z. Wang, A.C. Bovik // IEEE Signal Processing Magazine. Volume: 26, Issue: 1, 2009. – P. 98–117.
23. Ifeakor, E. Digital Signal Processing: A Practical Approach / E. Ifeakor, B.W. Jervis // translation from English I. Yu. Doroshenko, A.V. Nazarenko. – 2nd ed. – Moscow: Williams, 2004 (GPP press). – 989 p.
24. Kruse, R. L. Data structures and program design in C++ / Robert L. Kruse, Alexander J. Ryba // Prentice-Hall, 1999 – 717 p.

Bezmen Petr Anatolievich

Southwest state University, Kursk

Candidate of Sciences, associate professor of the mechanics,
mechatronics and robotics department

305040, Kursk, 50 let Oktyabrya street, 94

Ph. +7(920)–264–93–24

E-mail: pbezmen@yahoo.com

УДК 621.865.8

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-340-2-95-103

С.И. САВИН, Л.Ю. ВОРОЧАЕВА

МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ДВУНОГИМИ ШАГАЮЩИМИ РОБОТАМИ С ИНТЕГРИРОВАННЫМИ УПРУГИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы управления двуногим шагающим роботом с упругими элементами, интегрированными в его звенья между соответствующими актуаторами и редукторами. Разработана математическая модель движения устройства в сагиттальной плоскости, а также модель приводов с последовательно расположенными относительно них упругими элементами. Предложен алгоритм управления роботом, основанный на использовании CLQR-регулятора. В результате численного моделирования установлено влияние упругих элементов и их параметров на динамику робота, также проведена оценка учета ограничений моментов приводов (момент насыщения) и наличия нелинейностей в сенсорной системе объекта на качество работы системы управления и ее производительность. Моделирование проведено при учете условия, что система управления не имеет доступа к модели привода с упругими элементами.

Ключевые слова: двуногий шагающий робот, интегрированные упругие элементы, методы управления, упругодемпфирующие системы, ограничения крутящих моментов, актуаторы

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента Российской Федерации МК–1537.2019.8, Савин С.И. работал при поддержке РФФИ, проект №18–38–00140\18.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Luk, B.L. Walking and climbing service robots for safety inspection of nuclear reactor pressure vessels / B.L. Luk, A.A. Collie, D.S. Cooke, S. Chen // Measurement and control. – 2006. – Vol. 39(2). – P. 43–47.
2. Armada, M. On the design and development of climbing and walking robots for the maritime industries / M. Armada, M. Prieto, T. Akinfiev, R. Fernández, P. G. de Santos, E. Garcia,... J. Estremera // J. of Maritime Research. – 2005. – Vol. 2(1). – P. 9–32.
3. Robinson, D.W. Series elastic actuator development for a biomimetic walking robot / D.W. Robinson, J.E. Pratt, D.J. Paluska, G.A. Pratt // Advanced Intelligent Mechatronics: Proc. IEEE/ASME Intern. Conf., Atlanta, GA, USA. – 1999. – P. 561–568.
4. Pratt, G.A. Low impedance walking robots / G.A. Pratt // Integrative and Comparative Biology. – 2002. – Vol. 42(1). – P. 174–181.
5. Pratt, G.A. Stiffness isn't everything / G.A. Pratt, M.M. Williamson, P. Dillworth, J. Pratt, A. Wright. – Experimental Robotics IV: Springer, Berlin, Heidelberg. – 1997. – P. 253–262.
6. Brennan, K.E. Numerical solution of initial-value problems in differential-algebraic equations / K.E. Brennan, S.L. Campbell, L.R. Petzold. – Siam, Philadelphia, USA. – 1996. – Vol. 14. – 255 p.
7. Pratt, G.A. Late motor processing in low-impedance robots: Impedance control of series-elastic actuators / G.A. Pratt, P. Willisson, C. Bolton, A. Hofman // American Control Conference: Proc. of the Intern. Conf., Boston, MA, USA. – 2004. – Vol. 4. – P. 3245–3251.
8. Savin, S. Modification of constrained LQR for control of walking in-pipe robots / S. Savin, S. Jatsun, L. Vorochaeva // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics): Proc. IEEE Intern. Conf., Omsk, Russia. – 2017. – P. 1–6.
9. Mason, S. Balancing and walking using full dynamics LQR control with contact constraints / S. Mason, N. Rotella, S. Schaal, L. Righetti // Humanoid Robots (Humanoids): Proc. IEEE–RAS 16th Intern. Conf., Cancun, Mexico. – 2016. – P. 63–68.
10. Mistry, M. Inverse dynamics control of floating base systems using orthogonal decomposition / M. Mistry, J. Buchli, S. Schaal // Robotics and Automation: Proc. IEEE Intern. Conf., Anchorage, AK, USA. – 2010. – P. 3406–3412.
11. Righetti, L. Inverse dynamics control of floating-base robots with external constraints: A unified view / L. Righetti, J. Buchli, M. Mistry, S. Schaal // Robotics and Automation: Proc. IEEE Intern. Conf., Shanghai, China. – 2011. – P. 1085–1090.
12. Jatsun, S. Comparative analysis of global optimization-based controller tuning methods for an exoskeleton performing push recovery / S. Jatsun, S. Savin, A. Yatsun // System Theory, Control and Computing (ICSTCC): Proc. 20th IEEE Intern. Conf., Sinaia, Romania. – 2016. – P. 107–112.
13. Jatsun, S. Parameter optimization for exoskeleton control system using sobol sequences / S. Jatsun, S. Savin, A. Yatsun // Symposium on Robot Design, Dynamics and Control. – Springer, Cham. – 2016. – P. 361–368.
14. Savin, S. State observer design for a walking in-pipe robot / S. Savin, S. Jatsun, L. Vorochaeva // MATEC Web of Conferences: EDP Sciences. – 2018. – Vol. 161. – P. 03012.

Савин Сергей Игоревич

Университет Иннополис, г. Иннополис
кандидат технических наук
старший научный сотрудник
лаборатории мехатроники, управления
и прототипирования
420500 г. Иннополис, ул. Университетская, 1
тел. +79513231411
e-mail: s.savin@innopolis.ru

Ворочаева Людмила Юрьевна

Юго-Западный государственный
университет, г. Курск
кандидат технических наук
доцент кафедры механики,
мехатроники и робототехники
305040 г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94
тел. +79081227798
e-mail: mila180888@yandex.ru

S.I. SAVIN, L.Yu. VOROCHAEVA

CONTROL METHOD FOR BIPEDAL ROBOTS WITH INTEGRATED ELASTIC ELEMENTS

Abstract. *The study deals with the control of a two-legged walking robot with elastic elements integrated into its links between the respective actuators and gearboxes. A mathematical model of the movement of the device in the sagittal plane, as well as a model of series elastic actuators, have been presented. A robot control algorithm based on the use of the CLQR controller is proposed. As a result of numerical simulation, the influence of elastic elements and their parameters on the robot dynamics has been established, taking into account the limitations of the drive torque (torque saturation) and the presence of nonlinearities in the sensor system of the object. The simulation was performed taking into account that the control system does not have access to a drive model with elastic elements.*

Keywords: *two-legged walking robot, integrated elastic elements, control methods, spring-damper system, torque limits, actuators*

BIBLIOGRAPHY

1. Luk, B.L. Walking and climbing service robots for safety inspection of nuclear reactor pressure vessels / B.L. Luk, A.A. Collie, D.S. Cooke, S. Chen // *Measurement and control*. – 2006. – Vol. 39(2). – P. 43–47.
2. Armada, M. On the design and development of climbing and walking robots for the maritime industries / M. Armada, M. Prieto, T. Akinfiyev, R. Fernández, P. G. de Santos, E. Garcia,... J. Estremera // *J. of Maritime Research*. – 2005. – Vol. 2(1). – P. 9–32.
3. Robinson, D.W. Series elastic actuator development for a biomimetic walking robot / D.W. Robinson, J.E. Pratt, D.J. Paluska, G.A. Pratt // *Advanced Intelligent Mechatronics: Proc. IEEE/ASME Intern. Conf., Atlanta, GA, USA*. – 1999. – P. 561–568.
4. Pratt, G.A. Low impedance walking robots / G.A. Pratt // *Integrative and Comparative Biology*. – 2002. – Vol. 42(1). – P. 174–181.
5. Pratt, G.A. Stiffness isn't everything / G.A. Pratt, M.M. Williamson, P. Dillworth, J. Pratt, A. Wright. – *Experimental Robotics IV: Springer, Berlin, Heidelberg*. – 1997. – P. 253–262.
6. Brenan, K.E. Numerical solution of initial-value problems in differential-algebraic equations / K.E. Brenan, S.L. Campbell, L.R. Petzold. – *Siam, Philadelphia, USA*. – 1996. – Vol. 14. – 255 p.
7. Pratt, G.A. Late motor processing in low-impedance robots: Impedance control of series-elastic actuators / G.A. Pratt, P. Willisson, C. Bolton, A. Hofman // *American Control Conference: Proc. of the Intern. Conf., Boston, MA, USA*. – 2004. – Vol. 4. – P. 3245–3251.
8. Savin, S. Modification of constrained LQR for control of walking in-pipe robots / S. Savin, S. Jatsun, L. Vorochaeva // *Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics): Proc. IEEE Intern. Conf., Omsk, Russia*. – 2017. – P. 1–6.
9. Mason, S. Balancing and walking using full dynamics LQR control with contact constraints / S. Mason, N. Rotella, S. Schaal, L. Righetti // *Humanoid Robots (Humanoids): Proc. IEEE-RAS 16th Intern. Conf., Cancun, Mexico*. – 2016. – P. 63–68.
10. Mistry, M. Inverse dynamics control of floating base systems using orthogonal decomposition / M. Mistry, J. Buchli, S. Schaal // *Robotics and Automation: Proc. IEEE Intern. Conf., Anchorage, AK, USA*. – 2010. – P. 3406–3412.
11. Righetti, L. Inverse dynamics control of floating-base robots with external constraints: A unified view / L. Righetti, J. Buchli, M. Mistry, S. Schaal // *Robotics and Automation: Proc. IEEE Intern. Conf., Shanghai, China*. – 2011. – P. 1085–1090.
12. Jatsun, S. Comparative analysis of global optimization-based controller tuning methods for an exoskeleton performing push recovery / S. Jatsun, S. Savin, A. Yatsun // *System Theory, Control and Computing (ICSTCC): Proc. 20th IEEE Intern. Conf., Sinaia, Romania*. – 2016. – P. 107–112.
13. Jatsun, S. Parameter optimization for exoskeleton control system using sobol sequences / S. Jatsun, S. Savin, A. Yatsun // *Symposium on Robot Design, Dynamics and Control*. – Springer, Cham. – 2016. – P. 361–368.
14. Savin, S. State observer design for a walking in-pipe robot / S. Savin, S. Jatsun, L. Vorochaeva // *MATEC Web of Conferences: EDP Sciences*. – 2018. – Vol. 161. – P. 03012.

Savin Sergei Igorevich

Innopolis University, Innopolis
candidate of science, Senior Researcher at
Center for Technologies in Robotics and
Mechatronics Components
420500 Innopolis, Universitetskaya st. 1
tel. +79513231411
e-mail: s.savin@innopolis.ru

Vorochaeva Lyudmila Yurievna

Southwest State University, Kursk
candidate of science, docent of department
of Mechanics, Mechatronics and Robotics
305040 Kursk, 50 let Oktyabrya, 94
tel. +79081227798
e-mail: mila180888@yandex.ru

УДК 62–25

DOI:10.33979/2073-7408-2020-340-2-104-108

М.Э. БОНДАРЕНКО, А.С. ФЕТИСОВ, С.Г. ПОПОВ, В.О. ТЮРИН

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА И СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛА С МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКОЙ СМАЗКОЙ

Аннотация. В работе представлено описание конструкции и принцип работы подшипникового узла с магнито-реологической смазкой. Представлен экспериментальный стенд для исследования динамических и трибологических характеристик опоры. Описана информационно-измерительная система сбора и обработки информации. Приведена система управления мехатронного подшипникового узла.

Ключевые слова: подшипник скольжения, магнитореологическая жидкость, измерительная система, экспериментальная установка, система управления.

Настоящее исследование выполнено в рамках проекта РФФИ № 18–38–00465.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Laukiavich, C.A. A comparison between the performance of ferro- and magnetorheological fluids in a hydrodynamic bearing / C.A. Laukiavich, M.J. Braun, A.J. Chandy // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J Journal of Engineering Tribology. – 2014. – Vol. 228. – P. 649–666.
2. Montazeri H. Numerical analysis of hydrodynamic journal bearings lubricated with ferrofluids. Engineering Tribology. Proc. IMechE, Vol.222., 2007. Part J.:51 – 60.
3. Ashtiani M. The effect of nanosilica and nano-magnetite on the magnetorheological fluid stabilization and magnetorheological effect / M. Ashtiani, S.H. Hashemabadi // Journal of intelligent material systems and structures. Vol. 26 (14), 2015. 1887 – 1892.
4. Ghaffari A. A review on the simulation and modeling of magnetorheological fluids / A. Ghaffari, S.H. Hashemabadi, M. Ashtiani // Journal of intelligent material systems and structures. Vol. 26 (8), 2015. P. 881–904.
5. Spaggiari A. Smart materials: properties, design and mechatronic applications / A. Spaggiari, D. Castagnetti, N. Golinelli // Journal of materials: design and application. Proc. IMechE Part L., Vol. 0 (0), 2016. P. 1–29.
6. Jaw-Ren L. Lubrication performances of short journal bearings operating with nonnewtonian ferrofluids / L. Jaw-Ren, L. Po-Jui, H. Tzu-Chen // Naturforsch, Vol. 68a., 2013. C. 249 – 254.
7. Spaggiari A. Smart materials: properties, design and mechatronic applications / A. Spaggiari, D. Castagnetti, N. Golinelli // Journal of materials: design and application. Proc. IMechE Part L. Vol. 0 (0), 2016. P. 1–29.
8. Фетисов А.С. Экспериментальный стенд для исследования реомагнитных опор скольжения / А.С. Фетисов, Я. Запомель, М.Э. Бондаренко, В.О. Тюрин // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 3, 2019. С. 376–380.

Бондаренко Максим Эдуардович

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
младший научный сотрудник НОЦ ИТМиДЭО
E-mail: maxbondarenko22@yandex.ru

Фетисов Александр Сергеевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
младший научный сотрудник НОЦ ИТМиДЭО
E-mail: fetisov57rus@mail.ru

Попов Сергей Георгиевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
младший научный сотрудник НОЦ ИТМиДЭО
E-mail: sg.popov@pm.me

Тюрин Валентин Олегович

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
младший научный сотрудник НОЦ ИТМиДЭО
E-mail: v7a7l@mail.ru

M.E. BONDARENKO, A.S. FETISOV, S.G. POPOV, V.O. TYURIN

INFORMATION-MEASUREMENT SYSTEM AND CONTROL SYSTEM OF THE BEARING UNIT WITH MAGNETOREOLOGICAL FLUID

Abstract. The paper presents a description of the design and principle of operation of the bearing unit with magnetorheological lubrication. A test rig for the study of the dynamic and tribological characteristics of the bearing unit is presented. The information-measuring system for collecting and processing information is described. The control system of the mechatronic bearing assembly is presented.

Keywords: journal bearing, magnetorheological fluid, measurement system, test rig, control system.

BIBLIOGRAPHY

1. Laukiavich, C.A. A comparison between the performance of ferro- and magnetorheological fluids in a hydrodynamic bearing / C.A. Laukiavich, M.J. Braun, A.J. Chandy // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J Journal of Engineering Tribology. – 2014. – Vol. 228. – P. 649–666.
2. Montazeri H. Numerical analysis of hydrodynamic journal bearings lubricated with ferrofluids. Engineering Tribology. Proc. IMechE, Vol.222., 2007. Part J.:51 – 60.
3. Ashtiani M. The effect of nanosilica and nano-magnetite on the magnetorheological fluid stabilization and magnetorheological effect / M. Ashtiani, S.H. Hashemabadi // Journal of intelligent material systems and structures. Vol. 26 (14), 2015. 1887 – 1892.
4. Ghaffari A. A review on the simulation and modeling of magnetorheological fluids / A. Ghaffari, S.H. Hashemabadi, M. Ashtiani // Journal of intelligent material systems and structures. Vol. 26 (8), 2015. P. 881–904.
5. Spaggiari A. Smart materials: properties, design and mechatronic applications / A. Spaggiari, D. Castagnetti,

N. Golinelli // Journal of materials: design and application. Proc. IMechE Part L. Vol. 0 (0), 2016. P. 1–29.

6. Jaw–Ren L. Lubrication performances of short journal bearings operating with nonnewtonian ferrofluids / L. Jaw–Ren, L. Po–Jui, H. Tzu–Chen // Naturforsch, Vol. 68a., 2013. C. 249 – 254.

7. Spaggiari A. Smart materials: properties, design and mechatronic applications / A. Spaggiari, D. Castagnetti, N. Golinelli // Journal of materials: design and application. Proc. IMechE Part L. Vol. 0 (0), 2016. P. 1–29.

8. Fetisov A.S. Eksperimentalnyj stend dlya issledovaniya reomagnitnyh opor skolzheniya / A.S. Fetisov, YA. Zapomel, M.E. Bondarenko, V.O. Tyurin // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. Vyp. 3, 2019. S. 376–380.

Bondarenko Maxim Eduardovich

Orel State University

Trainee–researcher SEC Intelligent technologies for monitoring and diagnostics of power generating equipment

E–mail: maxbondarenko22@yandex.ru

Fetisov Alexander Sergeevich

Orel State University

Trainee–researcher SEC Intelligent technologies for monitoring and diagnostics of power generating equipment

E–mail: fetisov57rus@mail.ru

Popov Sergei Georgievich

Orel State University

Trainee–researcher SEC Intelligent technologies for monitoring and diagnostics of power generating equipment

E–mail: sg.popov@pm.me

Tyurin Valentin Olegovich

Orel State University

Trainee–researcher SEC Intelligent technologies for monitoring and diagnostics of power generating equipment

E–mail: v7a7l7@mail.ru

УДК 621.7

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-340-2-109-113

А.Ю. РОДИЧЕВ, А.В. ПАНИЧКИН, Е.Н. ГРЯДУНОВА, М.А. ТОКМАКОВА

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА СИЛ ИНЕРЦИИ
ПРИ НАНЕСЕНИИ ПОКРЫТИЯ НА ВНЕШНЮЮ ПОВЕРХНОСТЬ
ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ**

Аннотация. В статье представлены результаты исследования влияния сил инерции на сцепление покрытия с внешней поверхностью тел вращения при термическом напылении. Предложен математический аппарат для расчета сил инерции действующих на частицу покрытия при нанесении на внешнюю поверхность тел вращения. В результате выявлены зависимости позволяющие прогнозировать прочность сцепления покрытия со стальной основой при термическом напылении.

Ключевые слова: сцепление, антифрикционное покрытие, инерция, сила, прочность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Газотермические покрытия из порошковых материалов. Справочник / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко, Е.Н. Ардаговская – Киев: Наукова думка, 1987

2. Порошковая металлургия и напыленные покрытия: Учебник для ВУЗов. В.Н. Анциферов, Г.В. Бобров, Л.К. Дружинин и др. – М.: Мет–я, 1987.

3. Ярошевич В.К., Белорецкий М.А. Антифрикционные покрытия из металлических порошков. – Минск: Наука и техника, 1981. – 175 с.

4. Курбатова И.А. Технология, структура и свойства антифрикционных материалов на основе системы железо–медь, содержащих графит. Диссертация к.т.н.–М., 1986.

5. Кутыков А.А. Износостойкие и антифрикционные покрытия.– М.: Машиностроение, 1976. – 152 с.

6. Rodichev, A.Y., Sytin, A.V., Barabash, V.V., Technological increase of adhesion strength between anti-friction coating and base in bimetal fluid–film bearings / Solid State Phenomena: International Conference on Industrial Engineering, ICIE–2017. Volume 265 SSP, 2017, Pages 284–289.

7. Welding and spraying / Hasuy A., Morigaki O., – М.: Engineering 1985. – 240 p.

8. Зимон А.Д. Адгезия пленок и покрытий. М.: Химия, 1977. – 345с.

9. Дерягин Б.В., Кротова Н.Л., Смилга В.П. Адгезия твердых тел. – М.: Наука, 1973. – 279с.

10. Коробов, Ю.С. Анализ свойств газотермических покрытий: [учеб. пособие]: в 2 ч. – Екатеринбург: Изд–во Урал. ун–та, 2016. Ч. 2 / . – 92 с.

11. Barsukov G. Barabash V., Rodichev A., Kozhus. O. Technology of powder coatings application by gas–flame spraying using oxyhydrogen flame / Materials Science Forum, Vol. 906, pp. 80–87, 2017.

12. Suslov, A.G. Technological provision of operation properties and quality of machines 1997 Trenie i Iznos 18(3), pp. 311–320.

Родичев Алексей Юрьевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел

Паничкин Антон Валерьевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры
Мехатроника, механика и робототехника»
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: rodfox@yandex.ru

Грядунова Елена Николаевна
ФГБОУ ВО «Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева», г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Мехатроника, механика и робототехника»
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: gorin57@mail.ru

Кандидат технических наук, доцент кафедры подъемно-
транспортных, строительных и дорожных машин
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: gorin57@mail.ru

Токмакова Мария Андреевна
ФГБОУ ВО «Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева»
Аспирант
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: tokmakovn2303@gmail.com

A.Yu. RODICHEV, A.V. PANICHKIN, E.N. GRIADYNOVA, V.A. TOKMAKOVA

THEORETICAL BASES OF CALCULATION FORCES INERTIA WHEN DRAWING A COVER ON AN EXTERNAL SURFACE BODY OF ROTATION

Abstract. *The article presents the results of a study of the influence of inertia forces on the adhesion of a coating to the outer surface of bodies of revolution during thermal spraying. A mathematical apparatus is proposed for calculating the inertia forces acting on a coating particle when rotation bodies are applied to the outer surface. As a result, dependences are revealed that make it possible to predict the adhesion strength of the coating to the steel base during thermal spraying.*

Keywords: *adhesion, anti-friction coating, inertia, force, strength.*

BIBLIOGRAPHY

1. Thermal coatings of powder materials. Reference book / Yu.S..Borisov, Yu.A. Kharlamov, S.L. Sidorenko, E.N. Ardatskovskaya – Kiev: Naukova Dumka, 1987
2. Powder metallurgy and sprayed coatings: Textbook for universities. V.N. Antsiferov, G.V. Bobrov, L.K. Druzhinin et al. – M.: Met-I, 1987.
3. Yaroshevich V.K., Beloretsky M.A. Anti-friction coatings from metal powders. – Minsk: Science and Technology, 1981. – 175 p.
4. Kurbatova I.A. Technology, structure and properties of antifriction materials based on the iron-copper system containing graphite. The dissertation is candidate of technical sciences – M., 1986.
5. Kutkov A.A. Wear-resistant and anti-friction coatings. – M.: Mechanical Engineering, 1976. – 152 p.
6. Rodichev, A.Y., Sytin, A.V., Barabash, V.V., Technological increase of adhesion strength between anti-friction coating and base in bimetal fluid-film bearings / Solid State Phenomena: International Conference on Industrial Engineering, ICIE-2017. Volume 265 SSP, 2017, Pages 284–289.
7. Welding and spraying / Hasuy A., Morigaki O., – M.: Engineering 1985. – 240 p.
8. Zimon A.D. Adhesion of films and coatings. M.: Chemistry, 1977.— 345 p.
9. Deryagin B.V., Krotova N.L., Smilga V.P. Adhesion of solids. – M.: Nauka, 1973.– 279 p.
10. Korobov, Yu.S. Analysis of the properties of thermal coatings: [textbook. allowance]: at 2 oclock – Yekaterinburg: Publishing House Ural. University, 2016. Part 2 /. – 92 p.
11. Barsukov G. Barabash V., Rodichev A., Kozhus. O. Technology of powder coatings application by gas-flame spraying using oxyhydrogen flame / Materials Science Forum, Vol. 906, pp. 80–87, 2017.
12. Suslov, A.G. Technological provision of operation properties and quality of machines 1997 Trenie i Iznos 18(3), pp. 311–320.

Rodichev Aleksei Yrievich
FSBEI HE Orel State University named after I.S.
Turgenev
Candidate Science Technic, the senior lecturer of faculty
«Mechatronics, mechanics and robotics»
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: rodfox@yandex.ru

Griadyanova Elena Nikolaevna
FSBEI HE Orel State University named after I.S.
Turgenev
Candidate Science Technic, the senior lecturer of faculty
«Mechatronics, mechanics and robotics»
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: gorin57@mail.ru

Panichkin Anton Valerevich
FSBEI HE Orel State University named after I.S.
Turgenev
Candidate Science Technic, the senior lecturer of faculty
hoisting and transport, construction and road machines
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: gorin57@mail.ru

Tokmakova Maria Andreevna
FSBEI HE Orel State University named after I.S.
Turgenev
Graduate student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: tokmakovn2303@gmail.com

Е.Е. ПРОКОПОВ, А.В. ГОРИН, А.В. ПРОСЕKOVA, Н.В. ТОКМАКОВ

СИСТЕМА ВИБРОЗАЩИТА С УПРУГИМ ЗВЕНОМ ПРЕРЫВИСТОГО ДЕЙСТВИЯ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ И ИХ ОПРОБАЦИЯ

Аннотация. В статье рассматривается виброзащитная система с упругим звеном прерывистого действия. Представлено конструктивное решение в виде механического осциллятора, моделирующего процесс работы рассматриваемой виброзащитной системы. Приведены результаты экспериментальных исследований процесса работы механического осциллятора. Выполнены выводы о перспективности использования виброзащитной системы с упругим звеном прерывистого действия.

Ключевые слова: вибрация, виброзащита, амортизатор, модель, дисперсия, виброускорение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокопов Е.Е. Анализ динамики переключений жесткости / Е.Е. Прокопов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия техника и технологии. – 2016. – №3 (20). – С.124 – 128.с.
2. Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле. – М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1977. – 479 с.
4. Очков В.Ф. MathCAD 7 PRO для студентов и инженеров. – М.: Компьютер Пресс, 1998. – 384 с.
5. Прокопов Е.Е. Исследование подвески с амортизатором прерывистого действия для сиденья мобильных машин / Е.Е. Прокопов, В.И. Чернышев, О.В. Фомина // Механизация и электрофикация сельского хозяйства. – 2006. – №10. – С. 29 – 31.
6. Чегодаев Д.Е. Управляемая виброизоляция / Д.Е. Чегодаев, Ю.В.Шатилов. – Самара, 1995. – 144 с.
7. Прокопов Е.Е. Динамика систем виброзащиты с нелинейной характеристикой восстанавливающих сил / Е.Е. Прокопов // Материалы всероссийской научно-методической конференции «Проектирование машин, роботов и мехатронных систем». – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2017. – С.48–50.
8. Прокопов Е.Е. Математическое моделирование низкочастотного амортизатора сиденья транспортного средства / Е.Е. Прокопов // Материалы международной научно-технической конференции «Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ-2015)». □ Курск: ЮЗГУ, 2015. – С.189–192.

Прокопов Евгений Енорович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
канд. техн. наук, доцент кафедры мехатроника, механика и робототехника
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79536210621
E-mail: bill.1970@yandex.ru

Просекова Анастасия Владимировна

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
старший преподаватель кафедры мехатроника, механика и робототехника
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79102683178
E-mail: gorin57@mail.ru

Горин Андрей Владимирович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
канд. техн. наук, доцент кафедры мехатроника, механика и робототехника
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79102600267
E-mail: gorin57@mail.ru

Токмаков Никита Владимирович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
студент
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79606489922
E-mail: stalker.20122@yandex.ru

Е.Е. PROKOPOV, A.V. GORIN, A.V. PROSEKOVA, N.V. TOKMAKOV

VIBRATION PROTECTION SYSTEM WITH AN ELASTIC INTERFERENCE RING CONSTRUCTIVE SOLUTIONS AND THEIR TESTING

Abstract. The article considers a vibration protection system with an elastic intermittent link. A constructive solution is presented in the form of a mechanical oscillator simulating the process of operation of the considered vibration protection system. The results of experimental studies of the operation of a mechanical oscillator are presented. Conclusions have been drawn on the prospects of using a vibration protection system with an intermittent elastic link.

Keywords: vibration, vibration protection, shock absorber, model, dispersion, acceleration, spectral density.

BIBLIOGRAPHY

1. Prokopov E. Analysis of the dynamics of the switching-spring / E. E. Prokopov // news of southwest state University. Series of equipment and technology. – 2016. – №3 (20). – С. 124 – 128. S. AFR.
2. Timoshenko S. P., Young D. H., Weaver, W., Vibrations in engineering. – Moscow: Mechanical Engineering, 1985. – 472 p.
3. Gmurman V. E. Probability theory and mathematical statistics. M.: Higher school, 1977. – 479 p.
4. Ochkov V. F. MathCAD 7 PRO for students and engineers. – M.: Computer Press, 1998. – 384 p.
5. Prokopov E. E. Study of the suspension c shock intermittent seat of mobile machines / E. E. Prokopov, V. I. Chernyshev, O. V. Fominova // Mechanization and electrification of agriculture. 2006. No. 10. – P. 29 – 31.
6. Chegodaev D. E. Controlled vibration isolation / D. E. Chegodaev, Yu. V. Shatilov. – Samara, 1995. – 144 s.
7. Dynamics of vibration protection systems with nonlinear characteristics of restoring forces / E. E. Prokopov // Materials of the all-Russian scientific and methodological conference «Design of machines, robots and mechatronic systems». – Oryol: OSU im. I. S. Turgeneva, 2017. – P. 48–50.
8. Prokopov E. E. Mathematical modeling of low-frequency shock absorber of the vehicle seat / E. Prokopov // Proceedings of the international scientific and technical conference «Modern automotive materials and technologies (SAMIT–2015)». Kursk: SWSU, 2015. – P. 189–192.

Prokopov Evgeniy Egorovich

Orel State University named after I.S. Turgenev
candidate of Technical Science, associate Professor of
the Department of mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79536210621
E-mail: bill.1970@yandex.ru

Gorin Andrey Vladimirovich

Orel State University
candidate of technical Sciences, associate Professor of
the Department mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79102600267
E-mail: gorin57@mail.ru

Prosekhova Anastasia Vladimirovna

Orel State University named after I.S. Turgenev
senior lecturer at the Department of mechatronics,
mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79102683178
E-mail: gorin57@mail.ru

Tokmakova Maria Andreevna

Orel State University named after I.S. Turgenev
graduate student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79102606508
E-mail: mashagorina0908@gmail.com

УДК 621.822

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-340-2-121-125

Н.Е. ГРИЩЕНКО, Р.Н. ПОЛЯКОВ

ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Аннотация. В статье приводится обзор некоторых конструкций подшипников скольжения с регулируемыми характеристиками. Такие конструкции могут рассматриваться как основа систем управления рабочими характеристиками роторных машин, таких как турбогенераторы и газотурбинные установки, в режиме реального времени для повышения эксплуатационной надёжности и предотвращения аварийных ситуаций.

Ключевые слова: подшипник скольжения, конструкция, ресурс, надёжность, дисбаланс.

Работа выполнена в рамках проекта №05.607.21.0303 «Разработка интеллектуальной технологии мониторинга и прототипа программно-аппаратного комплекса безопасности объектов энергетического комплекса» ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно – технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы» (уникальный идентификатор соглашения RFMEFI60719X0303).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Schweitzer G. / Magnetic bearings: theory, design, and application to rotating machinery // Magnetic bearings: theory, design, and application to rotating machinery. Springer. – 2009.
2. Dohnal F. / Enhancement of external damping of a flexible rotor in active magnetic bearings by time-periodic stiffness variation // J. Syst. Des. Dynam. – 2011. – № 5 – С. 856.

3. Mushi SE. / Design, construction, and modeling of a flexible rotor active magnetic bearing test rig // IEEE ASME. Trans Mechatron. – 2010. – № 17(6). 1170–82.
4. Tang J. / Stable control of high-speed rotor suspended by superconducting magnetic bearings and active magnetic bearings // IEEE. Trans Ind Electron. – 2016.
5. Чернавский С.А. Подшипники скольжения / С. А. Чернавский. – М.: МАШГИЗ, 1963. – 243 с.
6. Kasarda M. / An experimental investigation of the effect of an active magnetic damper on reducing subsynchronous vibrations in rotating machinery // Asme Turbo Expo. Power Land Sea Air. – 2005. – № 6 – C. 801.
7. Shafei A. / Controlling journal bearing instability using active magnetic bearings // J Eng Gas Turbines Power. – 2010. – №132(1).
8. Sun L. / Self-tuning adaptive control of forced vibration in rotor systems using an active journal bearing // J Sound Vib. – 1998. – № 213(1) – C. 1–14.
9. Sun L. / Experimental investigation of dynamic properties of an active journal bearing // J Sound Vib. – 2000. – № 230(5) C. 17–26.
10. Martin J. / Theoretical studies of a continuously adjustable hydrodynamic fluid film bearing // J Tribol. – 2002. – №124(1) C. 203.
11. Kai Feng. Characterization of a controllable stiffness foil bearing with shape memory alloy springs / Kai Feng, Yuanlong Cao, Ke Yu, Hanqing Guan, Yihua Wu, Zhiyang Guo // Tribology International. ELSEVIER. – 2019. – № 136 – C. 360–371.
12. Shenglun Zhang. Vibration suppression mechanism research of adjustable elliptical journal bearing under synchronous unbalance load / Shenglun Zhang, Hua Xu, Lei Zhang, Yu Xing, Yanan Guo // Tribology International. ELSEVIER. – 2019. – № 132 – C. 185–198.
13. Changlin Li. Study of load carrying mechanism of a novel three-pad gas foil bearing with multiple sliding beams / Changlin Li, Jianjun Du, Yingxue Yao // Mechanical Systems and Signal Processing. ELSEVIER. – 2020. – № 135 – C. 277–302.
14. Chasalevris A. Real-time alignment and operation optimization of turbine shaft trains using adjustable bearings Alignement en temps réel et optimisation du fonctionnement des lignes d'arbres des turbines utilisant des paliers ajustables / Chasalevris A., Guignier G. // Behaviour of journal and thrust bearings under transient and mixed lubrication regime. PprimeWorkshop. – 2017. – № 16.

Грищенко Никита Евгеньевич

ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орел
Аспирант
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79200814861
E-mail: overdose18@mail.ru

Поляков Роман Николаевич

ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орел
Доктор технических наук, доцент
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79038819381
E-mail: romanpolak@mail.ru

N.E. GRISHCHENKO, R.N. POLYAKOV

AN OVERVIEW OF ADJUSTABLE BEARING DESIGNS: COMPARATIVE ANALYSIS AND APPLICATIONS

Abstract. *The article provides an overview of some designs of sliding bearings with adjustable characteristics. Such designs can be considered as the basis of performance management systems for rotary machines, such as turbine generators and gas turbine units, in real time to increase operational reliability and prevent emergency situations.*

Keywords: *plain bearing, design, resource, reliability, imbalance.*

BIBLIOGRAPHY

1. Schweitzer G. / Magnetic bearings: theory, design, and application to rotating machinery // Magnetic bearings: theory, design, and application to rotating machinery. Springer. – 2009.
2. Dohnal F. / Enhancement of external damping of a flexible rotor in active magnetic bearings by time-periodic stiffness variation // J. Syst. Des. Dynam. – 2011. – № 5 – C. 856.
3. Mushi SE. / Design, construction, and modeling of a flexible rotor active magnetic bearing test rig // IEEE ASME. Trans Mechatron. – 2010. – № 17(6). 1170–82.
4. Tang J. / Stable control of high-speed rotor suspended by superconducting magnetic bearings and active magnetic bearings // IEEE. Trans Ind Electron. – 2016.
5. Chernavskiy S. Podshipnikiskolzheniya / S. A. Chernavskiy. – MASHGIZ, 1963. – 243 s.
6. Kasarda M. / An experimental investigation of the effect of an active magnetic damper on reducing subsynchronous vibrations in rotating machinery // Asme Turbo Expo. Power Land Sea Air. – 2005. – № 6 – C. 801.
7. Shafei A. / Controlling journal bearing instability using active magnetic bearings // J Eng Gas Turbines Power. – 2010. – №132(1).

8. Sun L. / Self-tuning adaptive control of forced vibration in rotor systems using an active journal bearing // J Sound Vib. – 1998. – № 213(1) – С. 1–14.
9. Sun L. / Experimental investigation of dynamic properties of an active journal bearing // J Sound Vib. – 2000. – № 230(5) С. 17–26.
10. Martin J. / Theoretical studies of a continuously adjustable hydrodynamic fluid film bearing // J Tribol. – 2002. – №124(1) С. 203.
11. Kai Feng. Characterization of a controllable stiffness foil bearing with shape memory alloy springs / Kai Feng, Yuanlong Cao, Ke Yu, Hanqing Guan, Yihua Wu, Zhiyang Guo // Tribology International. ELSEVIER. – 2019. – № 136 – С. 360–371.
12. Shenglun Zhang. Vibration suppression mechanism research of adjustable elliptical journal bearing under synchronous unbalance load / Shenglun Zhang, Hua Xu, Lei Zhang, Yu Xing, Yanan Guo // Tribology International. ELSEVIER. – 2019. – № 132 – С. 185–198.
13. Changlin Li. Study of load carrying mechanism of a novel three-pad gas foil bearing with multiple sliding beams / Changlin Li, Jianjun Du, Yingxue Yao // Mechanical Systems and Signal Processing. ELSEVIER. – 2020. – № 135 – С. 277–302.
14. Chasalevris A. Real-time alignment and operation optimization of turbine shaft trains using adjustable bearings Alignement en temps réel et optimisation du fonctionnement des lignes d'arbres des turbines utilisant des paliers ajustables / Chasalevris A., Guignier G. // Behaviour of journal and thrust bearings under transient and mixed lubrication regime. PprimeWorkshop. – 2017. – № 16.

Grishchenko Nikita Evgenievich
 «OSU I.S. Turgenev», Orel
 Graduate student
 302020, Orel, NaugorskoeShosse, 29
 Ph.: +79200814861
 E-mail: overdose18@mail.ru

Polyakov Roman Nikolaevich
 «OSU I.S. Turgenev», Orel
 Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
 302020, Orel, NaugorskoeShosse, 29
 Ph.: +79038819381
 E-mail: romanpolak@mail.ru

ПРИБОРЫ, БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 620.179.1.082.7

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-340-2-126-131

В.В. МАРКОВ, К.В. ПОДМАСТЕРЬЕВ

СТЕНД КОНТРОЛЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ

Аннотация. Рассмотрены структура и принцип действия стенда контроля показателей качества прямоугольных электрических соединителей. Стенд предназначен для проведения технологического прогона электрических соединителей и контроля совокупности механических и электрических характеристик: силы сочленения и расчленения контактных пар; переходного сопротивления контакта деталей одной контактной пары; волнового сопротивления одной контактной пары; объёмного и поверхностного сопротивления изолятора; электрической прочности изолятора. Стенд может быть использован для контроля соединителей при проведении доводочных и приемо-сдаточных испытаний, а также для контрольных испытаний на надёжность.

Ключевые слова: трение; изнашивание; электрический соединитель; стенд контроля; переходное сопротивление контакта; волновое сопротивление; сопротивление изолятора; электрическая прочность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электротехнический справочник. В 3-х т. Т.2. Электротехнические устройства / Под общ. ред. В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского, Л.А. Жукова [и др.]. – М.: Энергоиздат, 1981. – 640 с.
2. Основы теории электрических аппаратов / Под общ. ред. И.С. Таева. – М.: Высшая школа, 1987. – 352 с.
3. Намитов, К.К. Электроэрозионные явления. – М.: Энергия, 1978. – 456 с.
4. Буткевич, Г.В. Электрическая эрозия силовых контактов и электродов / Г.В. Буткевич, Г.С. Белкин, Н.А. Ведешенков, М.А. Жаворонков. – М.: Энергия, 1978. – 256 с.
5. Комаров, А.А. Тяговые и трансформаторные подстанции : Учебно-методическое пособие / А.А. Комаров. – Самара: СамИИТ, 2001. – 51 с.
6. Хольм, Р. Электрические контакты / Р. Хольм. – М.: Изд-во иностр. лит, 1961. – 464 с.
7. Мещеряков, В.П. Новый метод оценки эрозии контактов под воздействием дугового разряда. Экспозиция / В.П. Мещеряков // Энергетика. – 2009. – № 1. – С. 56–64.
8. Бондаренко, И.Б. Соединители и коммутационные устройства : Учебное пособие / И.Б. Бондаренко, Ю.А. Гатчин, Н.Ю. Иванова, Д.А. Шилкин. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. – 151 с.

Марков Владимир Владимирович
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орёл
К.т.н., доцент, и.о. заведующего кафедрой
приборостроения, метрологии и сертификации
Тел. (4862)41–98–76;
E-mail: pms35vm@yandex.ru

Подмастерьев Константин Валентинович
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орёл
Д.т.н., профессор, директор института
приборостроения, автоматизации и информационных
технологий
Тел. (4862)41–98–76;
E-mail: asms-orel@mail.ru

V.V. MARKOV, K.V. PODMASTERYEV

QUALITY CONTROL STAND FOR RECTANGULAR ELECTRIC CONNECTORS

Abstract. *The structure and principle of operation of the stand for quality control of rectangular electrical connectors are considered. The stand is designed to conduct a technological run of electrical connectors and control the totality of mechanical and electrical characteristics: articulation and dismemberment of contact pairs; contact transition resistance of parts of one contact pair; wave resistance of one contact pair; volumetric and surface resistance of the insulator; dielectric strength. The stand can be used to control connectors during lapping and acceptance tests, as well as for control reliability tests.*

Keywords: *friction; wear; electrical connector; control stand; transient contact resistance; wave impedance; insulator resistance; dielectric strength.*

BIBLIOGRAPHY

1. Electrical reference book. In 3 vols. T.2. Electrical devices [Text] / Under the general. ed. V.G. Gerasimova, P.G. Grudinsky, L.A. Zhukov [et al.]. – M.: Energoizdat, 1981. – 640 p.
2. Fundamentals of the theory of electrical apparatus [Text] / Ed. ed. I.S. Taeva. – M.: Higher School, 1987. – 352 p.
3. Namitokov, K.K. Electroerosive phenomena [Text]. – M.: Energy, 1978. – 456 p.
4. Butkevich, G.V. Electrical erosion of high-current contacts and electrodes [Text] / G.V. Butkevich, G.S. Belkin, N.A. Vedeshenkov, M.A. Zhavoronkov. – M.: Energy, 1978. – 256 p.
5. Komarov, A.A. Traction and transformer substations [Text]: Teaching aid / A.A. Mosquitoes. – Samara: SamIIT, 2001. – 51 p.
6. Holm, R. Electrical contacts [Text] / R. Holm. – M.: Publishing house of foreign countries. lit. 1961. – 464 p.
7. Meshcheryakov, V.P. A new method for assessing contact erosion under the influence of an arc discharge. Exposition [Text] / V.P. Meshcheryakov // Energy. – 2009. – No. 1. – P. 56–64.
8. Bondarenko, I.B. Connectors and switching devices [Text]: Training manual / I. B. Bondarenko, Yu.A. Gatchin, N.Yu. Ivanova, D.A. Shilkin. – St. Petersburg: St. Petersburg State University ITMO, 2007. – 151 p.

Markov Vladimir Vladimirovich
OSU named after I.S. Turgenev, Oryol
Ph.D., Associate Professor, Acting head of department
instrument engineering, metrology and certification
Phone (4862)41–98–76;
E-mail: pms35vm@yandex.ru

Podmasteriev Konstantin Valentinovich
OSU named after I.S. Turgenev, Oryol
Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the
Institute of Instrumentation, Automation and Information
Technology
Phone. (4862)41–98–76;
E-mail: asms-orel@mail.ru

УДК 536.3+621.362.1

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-340-2-132-135

О.И. МАРКОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОБМЕНА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОХЛАДИТЕЛЯ

Аннотация. *Выполнено численное моделирование тепловых и термоэлектрических процессов в ветви твердотельного термоэлектрического охладителя Пельтье с учетом теплообмена конвекцией и излучением. Численный расчет ветви проводился в режиме максимального перепада температур.*

Ключевые слова: *математическое моделирование, температурное поле, твердотельные термоэлектрические охладители Пельтье, параметр термоэлектрической эффективности.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штерн, М.Ю. Термоэлектрические системы для обеспечения тепловых режимов вычислительной техники / Штерн М.Ю., Штерн Ю.И., Шевченков А.А. // Известия вузов. Сер. Электроника, 2011. – № 4. – С. 30–38.
2. Царев, А.В. Методики расчета и результаты испытаний термоэлектрических охлаждающих устройств для систем термостатирования стартовых комплексов / А.В. Царев, В.В. Чугунков // Актуальные проблемы российской космонавтики: Материалы XXXIII академических чтений по космонавтике – М.: Комиссия РАН, 2009. – С. 306–307.
3. Марков О.И. Компьютерное моделирование термоэлектрических преобразователей// Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. ОрелГТУ.2011. –№1(285). –С.20–24.
4. Марков О.И. Влияние теплового излучения на эффективность термоэлемента. Доклады XV Межгосударственной конференции. ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН, С. –Петербург. 2017. – С.257–262.
5. Марков О.И. Оценка влияния теплообмена излучением на эффективность термоэлектрического охладителя. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2017. – №6. – С. 167–171.
6. Васильев, Е.Н. Расчет и оптимизация режимов термоэлектрического охлаждения теплонагруженных элементов / Васильев Е.Н. // ЖТФ, 2017. – т.87. – Вып.1. – С. 80–86.
7. Васильев, Е.Н. Оптимизация режимов термоэлектрического охлаждения теплонагруженных элементов с учетом термического сопротивления теплоотводящей системы/ Васильев Е.Н. // ЖТФ, 2017. – т.87. – Вып. 9. – С. 1290–1296.
8. Физические проблемы термоэлектрического преобразования энергии: монография / Марков О.И. Орел.: ОГУ, 2013–144 с.
9. Справочник по физике / Кухлинг Х. М.: Мир, 1982. – 519 с.

Марков Олег Иванович

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орел,
д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой экспериментальной и теоретической физики
E-mail: O.I.Markov@mail.ru

O.I. MARKOV

MODELING THE EFFECT OF HEAT EXCHANGE ON THE EFFICIENCY OF A THERMOELECTRIC COOLER

Abstract. Numerical modelling thermal and thermoelectric processes in a branch of solid-state thermoelectric of Peltier cooler is performed, taking into account heat exchange by convection and radiation. The numerical calculation of the branch was carried out in the mode of the maximum temperature difference.

Keywords: mathematical modelling, a temperature field, solid-state thermoelectric of Peltier coolers, of thermoelectric figure of merit.

BIBLIOGRAPHY

1. Shtern M.J. Termoelektricheskie sistemy dlja teplovikh rezhimov vychislitel'noy tekhniki. Shtern M.J., Shtern J.I., Shevchenkov A.A. //Izvestiya vuzov. Ser. Elektronika, 2011. – №4. –S. 30–38.
2. Tsarev, A.V. Metodiki rascheta i rezultaty ispytaniy termoelektricheskikh okhlazhdayushchikh ustroystv dlya sistem termostatirovaniya startovyykh kompleksov/ A.V.Tsarev, V.V.Chugunkov // Aktualnye problemy rossiyskooy kosmonavtiki: Materialy XXXIII akademicheskikh chteniy po kosmonavtike – M.: Komissiya RAN, 2009. – S. 306–307.
3. Markov, O.I. Kompjuternoe modelirovanie termoelektricheskikh preobrazovateley// Fundamentalnye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. 2011. – №1 (285). –С.20–24.
4. Markov, O.I. Vliyanie teplovogo izlucheniya na effektivnost termoelementa. Doklady XV Mezhhgosudarstvennoy konferentsii. FTI im.A.F.Ioffe, S. – Peterburg. 2017. – С.257–262.
5. Markov, O.I. Otsenka vliyaniya teploobmena izlucheniem na effektivnost termoelektricheskogo ohladitelya. Fundamentalnye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. 2017. – №6. – С. 167–171.
6. Vasilev, E. N. Raschet i optimizatsiya rezhimov termoelektricheskogo ohlazhdeniya tepλονagruzhennykh elementov / Vasilev E. N.// ZHTPH, 2017. – т.87. – vyp.1. – S. 80–86.
7. Vasilev, E. N. Optimizatsiya rezhimov termoelektricheskogo okhlazhdeniya tepλονagruzhennykh elementov s uchetom termicheskogo soprotivleniya teploprovodyashcheiy sistemy/ Vasilev E. N. // ZHTPH, 2017. – т.87. – vyp.9. – S. 1290–1296.
8. Phizicheskie problemy termoelektricheskogo preobrazovaniya energii: monographiya/ Markov O.I. Oryol.: OGU, – 2013–144 s.
9. Spravochnik po phizike/ Kuchling H. M.: Mir, 1982. –519 s.

Markov Oleg Ivanovich

Orel State University named after I.S.Turgenev, Orel,
Doctor of Phys.–Math. Sciences, Head of Department of experimental and theoretical physics
E-mail: O.I.Markov@mail.ru

В.В. ДРЁМИН, Е.В. ЖАРКИХ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА С БИОЛОГИЧЕСКИМИ ТКАНЯМИ

Аннотация. В работе представлен краткий обзор подходов для моделирования взаимодействия поляризованного света с мутными рассеивающими средами. В данной работе представлены несколько реализаций программ Монте–Карло, отслеживающих состояние поляризации рассеянного света. Рассмотрено несколько классов моделей, основанных на формализме Стокса–Мюллера и формализме Джонса. Проанализированы их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: моделирование, поляризация, вектор Стокса, матрица Мюллера, метод Монте–Карло.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 19–79–00082).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tuchin, V.V. Polarized light interaction with tissues / V.V. Tuchin // J. Biomed. Opt. – 2016. – Vol. 21. – № 7. – P. 071114.
2. Tuchin, V.V. Optical polarization in biomedical applications / V.V. Tuchin, L.V. Wang, D.A. Zimnyakov // Optical Polarization in Biomedical Applications. Springer Berlin Heidelberg. – 2006. – P. 1-281.
3. Metropolis, N. The Monte Carlo Method / N. Metropolis, S. Ulam // J. Am. Stat. Assoc. – 1949. – Vol. 44. – № 247. – P. 335-341.
4. Lux, I. Monte Carlo particle transport methods: neutron and photon calculations / I. Lux, L. Koblinger // Boca Raton, FL: Chemical Rubber Company. – 1991. – P. 529.
5. Chandrasekhar, S. Radiative transfer / S. Chandrasekhar // Q. J. R. Meteorol. Soc. – 1950. – Vol. 76. – № 330. – P. 498-498.
6. Kattawar, G.W. Radiance and Polarization of Multiple Scattered Light from Haze and Clouds / G.W. Kattawar, G.N. Plass // Appl. Opt. – 1968. – Vol. 7. – № 8. – P. 1519.
7. Kattawar, G.W. Degree and Direction of Polarization of Multiple Scattered Light 1: Homogeneous Cloud Layers / G.W. Kattawar, G.N. Plass // Appl. Opt. – 1972. Vol. 11. – № 12. – P. 2851.
8. Kattawar, G.W. Stokes vector calculations of the submarine light field in an atmosphere-ocean with scattering according to a Rayleigh phase matrix: Effect of interface refractive index on radiance and polarization / G.W. Kattawar, C.N. Adams // Limnol. Oceanogr. – 1989 Vol. 34. – № 8. – P. 1453-1472.
9. Bruscaglioni, P. Transmission of a pulsed polarized light beam through thick turbid media: numerical results / P. Bruscaglioni, G. Zaccanti, Q. Wei // Appl. Opt. – 1993. – Vol. 32. – № 30. – P. 6142-6150.
10. Bianchi, S. Monte Carlo Simulations of Dusty Spiral Galaxies: Extinction and Polarization Properties / S. Bianchi, A. Ferrara, C. Giovanardi // Astrophys. J. – 1996. – Vol. 465. – P. 127-144.
11. Ambirajan, A. A backward Monte Carlo study of the multiple scattering of a polarized laser beam / A. Ambirajan, D.C. Look // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf. – 1997. – Vol. 58. – № 2. – P. 171-192.
12. Martinez, A.S. Faraday effect and multiple scattering of light / A.S. Martinez, R. Maynard // Phys. Rev. B. – 1994. – Vol. 50. – № 6. – P. 3714.
13. Bartel, S. Monte Carlo simulations of the diffuse backscattering Mueller matrix for highly scattering media / S. Bartel, A.H. Hielscher // Appl. Opt. – 2000. – Vol. 39. – № 10. – P.1580-1588.
14. Côté, D. Robust concentration determination of optically active molecules in turbid media with validated three-dimensional polarization sensitive Monte Carlo calculations / D. Côté, I.A. Vitkin // Opt. Express. – 2005. – Vol. 13. – № 1. – P. 148-163.
15. Raković, M.J. Light backscattering polarization patterns from turbid media: theory and experiment / M.J. Raković, G.W. Kattawar, M. Mehrübeoğlu, B.D. Cameron, L.V. Wang, S. Rastegar, G.L. Coté // Appl. Opt. – 1999. – Vol. 38. – № 15. – P. 3399-3408.
16. Otsuki, S. Multiple scattering of polarized light in turbid infinite planes: Monte Carlo simulations / S. Otsuki // J. Opt. Soc. Am. A. – 2016. – Vol. 33. – № 5. – P. 988-996.
17. Tynes, H.H. Monte Carlo and multicomponent approximation methods for vector radiative transfer by use of effective Mueller matrix calculations / H.H. Tynes, G.W. Kattawar, E.P. Zege, I.L. Katsev, A.S. Prikhach, L.I. Chaikovskaya // Appl. Opt. – 2001. – Vol. 40. – № 3. – P. 400-412.
18. Kaplan, B. Mueller matrix of dense polystyrene latex sphere suspensions: measurements and Monte Carlo simulation / B. Kaplan, G. Ledanois, B. Drévillon // Appl. Opt. – 2001. – Vol. 40. – № 16. – P. 2769-2777.
19. Xu, M. Electric field Monte Carlo simulation of polarized light propagation in turbid media / M. Xu // Opt. Express. – 2004. – Vol. 12. – № 26. – P. 6530-6539.
20. Zhu, C. Review of Monte Carlo modeling of light transport in tissues / C. Zhu, Q. Liu // J. Biomed. Opt. – 2013. – Vol. 18. – № 5. – P. 50902.
21. Zharebtsov, E. Hyperspectral imaging of human skin aided by artificial neural networks / E. Zharebtsov, V. Dremin, A. Popov, A. Doronin, D. Kurakina, M. Kirillin, I. Meglinski, A. Bykov // Biomed. Opt. Express. – 2019. – Vol. 10. – № 7. – P. 3545.
22. Dremin, V. Influence of blood pulsation on diagnostic volume in pulse oximetry and photoplethysmography

- measurements / V. Dremin, E. Zharebtsov, A. Bykov, A. Popov, A. Doronin, I. Meglinski // *Appl. Opt.* – 2019. – Vol. 58. – № 34. – P. 9398-9405.
23. Rafailov, I.E. Computational model of bladder tissue based on its measured optical properties / I.E. Rafailov, V.V. Dremin, K.S. Litvinova, A.V. Dunaev, S.G. Sokolovski, E.U. Rafailov // *J. Biomed. Opt.* – 2016. – Vol. 21. – № 2. – P. 025006.
24. Petrov, G.I. Human tissue color as viewed in high dynamic range optical spectral transmission measurements / G.I. Petrov, A. Doronin, H.T. Whelan, I. Meglinski, V.V. Yakovlev // *Biomed. Opt. Express.* – 2012. – Vol. 3. – № 9. – P. 2154-2161.
25. Ramella-Roman, J.C. Three Monte Carlo programs of polarized light transport into scattering media: part I / J.C. Ramella-Roman, S.A. Prahl, S.L. Jacques // *Opt. Express.* – 2005. – Vol. 13. – № 12. – P. 4420-4438.
26. Ramella-Roman, J.C. Three Monte Carlo programs of polarized light transport into scattering media: part II / J.C. Ramella-Roman, S.A. Prahl, S.L. Jacques // *Opt. Express.* – 2005. – Vol. 13. – № 25. – P. 10392-10405.
27. Witt, A.N. Multiple scattering in reflection nebulae. I – A Monte Carlo approach. / A.N. Witt // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* – 1977. – Vol. 35. – P. 1-6.
28. Craig, J.J. Introduction to Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control / J.J. Craig // Prentice Hall. – 2004.
29. Benoit, D.M. Quaternion formulation of diffusion quantum Monte Carlo for the rotation of rigid molecules in clusters / D.M. Benoit, D.C. Clary // *J. Chem. Phys.* – 2000. – Vol. 113. – № 13. – P. 5193-5202.
30. Richartz, M. Analysis of Elliptical Polarization / M. Richartz, H.-Y. Hsü // *J. Opt. Soc. Am.* – 1949. – Vol. 39. – № 2. – P. 136-157.
31. Kuipers, J.B. Quaternions and Rotation Sequences: A Primer With Applications / J.B. Kuipers // Princeton: Princeton university press. – 2002. – Vol. 66. – P. 127-143.
32. Cameron, B.D. Measurement and calculation of the two-dimensional backscattering Mueller matrix of a turbid medium / B.D. Cameron, M.J. Raković, M. Mehribəoğlu, G.W. Kattawar, S. Rastegar, L.V. Wang, G.L. Coté, // *Opt. Lett.* – 1998. – Vol. 23. – № 7. – P. 485-487.
33. Sawicki, J. Electric field Monte Carlo simulation of coherent backscattering of polarized light by a turbid medium containing Mie scatterers / J. Sawicki, N. Kastor, M. Xu // *Opt. Express.* – 2008. – Vol. 16. – № 8. – P. 5728-5738.
34. Kuzmin, V.L. Coherent effects of multiple scattering for scalar and electromagnetic fields: Monte-Carlo simulation and Milne-like solutions / V.L. Kuzmin, I.V. Meglinski // *Opt. Commun.* – 2007. – Vol. 273. – № 2. – P. 307-310.
35. Kuzmin, V.L. Stochastic modeling of coherent phenomena in strongly inhomogeneous media / V.L. Kuzmin, I.V. Meglinski, D.Y. Churmakov // *J. Exp. Theor. Phys.* – 2005. – Vol. 101. – № 1. – P. 22-32.
36. Kuzmin, V.L. Numerical simulation of coherent backscattering and temporal intensity correlations in random media / V.L. Kuzmin, I.V. Meglinski // *Quantum Electron.* – 2006. – Vol. 36. – № 11. – P. 990.
37. Akkermans, E. Theoretical study of the coherent backscattering of light by disordered media / E. Akkermans, P.E. Wolf, R. Maynard, G. Maret // *J. Phys.* – 1988. – Vol. 49. – № 1. – P. 77-98.
38. Salpeter, E.E. A relativistic equation for bound-state problems / E.E. Salpeter, H.A. Bethe // *Phys. Rev.* – 1951. – Vol. 84. – № 6. – P. 1232.
39. Kirillin, M. Simulation of optical coherence tomography images by Monte Carlo modeling based on polarization vector approach / M. Kirillin, I. Meglinski, V. Kuzmin, E. Sergeeva, R. Myllylä // *Opt. Express.* – 2010. – Vol. 18. – № 21. – P. 21714-21724.
40. Meglinski, I. Simulation of polarization-sensitive optical coherence tomography images by a Monte Carlo method / I. Meglinski, M. Kirillin, V. Kuzmin, R. Myllylä // *Opt. Lett.* – 2008. – Vol. 33. – № 14. – P. 1581-1583.
41. Doronin, A. Two electric field Monte Carlo models of coherent backscattering of polarized light / A. Doronin, A.J. Radosevich, V. Backman, I. Meglinski // *J. Opt. Soc. Am. A.* – 2014. – Vol. 31. – № 11. – P. 2394-2400.
42. Doronin, A. Propagation of coherent polarized light in turbid highly scattering medium / A. Doronin, C. Macdonald, I. Meglinski // *J. Biomed. Opt.* – 2014. – Vol. 19. – № 2. – P. 025005.
43. Dremin, V.V. How the melanin concentration in the skin affects the fluorescence-spectroscopy signal formation / V.V. Dremin, A.V. Dunaev // *J. Opt. Technol.* – 2016. – Vol. 83. – № 1. – P. 43-48.
44. Polarized Light Monte Carlo, <https://omlc.org/software/polarization>. Accessed: 2020-04-12.
45. Cloud based Monte Carlo tool for photon transport, www.biophotonics.fi. Accessed: 2020-04-12.

Дрёмин Виктор Владимирович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл,
Россия
Кандидат технических наук, научный сотрудник
Научно-технологического центра биомедицинской
фотоники
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: +7-4862-41-98-37
E-mail: dremin_viktor@mail.ru

Жарких Елена Валерьевна
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл,
Россия
Аспирант, стажер-исследователь
Научно-технологического центра биомедицинской
фотоники
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: +7-4862-41-98-37
E-mail: ev.zharkikh@gmail.com

V.V. DREMIN, E.V. ZHARKIKH

MODELING OF THE INTERACTION OF POLARIZED LIGHT WITH BIOLOGICAL TISSUES

Abstract. *This paper provides a brief overview of approaches for modeling the interaction of polarized light with turbid media. This paper presents several implementations of Monte Carlo programs that track the polarization state of scattered light. Several classes of models based on the Stokes–Muller formalism and the Jones formalism are considered. Their advantages and disadvantages are analyzed.*

Keywords: *simulation, polarization, Stokes vector, Muller matrix, Monte Carlo method.*

BIBLIOGRAPHY

1. Tuchin, V.V. Polarized light interaction with tissues / V.V. Tuchin // J. Biomed. Opt. – 2016. – Vol. 21. – № 7. – P. 071114.
2. Tuchin, V.V. Optical polarization in biomedical applications / V.V. Tuchin, L.V. Wang, D.A. Zimnyakov // Optical Polarization in Biomedical Applications. Springer Berlin Heidelberg. – 2006. – P. 1-281.
3. Metropolis, N. The Monte Carlo Method / N. Metropolis, S. Ulam // J. Am. Stat. Assoc. – 1949. – Vol. 44. – № 247. – P. 335-341.
4. Lux, I. Monte Carlo particle transport methods: neutron and photon calculations / I. Lux, L. Koblinger // Boca Raton, FL: Chemical Rubber Company. – 1991. – P. 529.
5. Chandrasekhar, S. Radiative transfer / S. Chandrasekhar // Q. J. R. Meteorol. Soc. – 1950. – Vol. 76. – № 330. – P. 498-498.
6. Kattawar, G.W. Radiance and Polarization of Multiple Scattered Light from Haze and Clouds / G.W. Kattawar, G.N. Plass // Appl. Opt. – 1968. – Vol. 7. – № 8. – P. 1519.
7. Kattawar, G.W. Degree and Direction of Polarization of Multiple Scattered Light 1: Homogeneous Cloud Layers / G.W. Kattawar, G.N. Plass // Appl. Opt. – 1972. Vol. 11. – № 12. – P. 2851.
8. Kattawar, G.W. Stokes vector calculations of the submarine light field in an atmosphere-ocean with scattering according to a Rayleigh phase matrix: Effect of interface refractive index on radiance and polarization / G.W. Kattawar, C.N. Adams // Limnol. Oceanogr. – 1989 Vol. 34. – № 8. – P. 1453-1472.
9. Brusciaglioni, P. Transmission of a pulsed polarized light beam through thick turbid media: numerical results / P. Brusciaglioni, G. Zaccanti, Q. Wei // Appl. Opt. – 1993. – Vol. 32. – № 30. – P. 6142-6150.
10. Bianchi, S. Monte Carlo Simulations of Dusty Spiral Galaxies: Extinction and Polarization Properties / S. Bianchi, A. Ferrara, C. Giovanardi // Astrophys. J. – 1996. – Vol. 465. – P. 127-144.
11. Ambirajan, A. A backward Monte Carlo study of the multiple scattering of a polarized laser beam / A. Ambirajan, D.C. Look // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf. – 1997. – Vol. 58. – № 2. – P. 171-192.
12. Martinez, A.S. Faraday effect and multiple scattering of light / A.S. Martinez, R. Maynard // Phys. Rev. B. – 1994. – Vol. 50. – № 6. – P. 3714.
13. Bartel, S. Monte Carlo simulations of the diffuse backscattering Mueller matrix for highly scattering media / S. Bartel, A.H. Hielscher // Appl. Opt. – 2000. – Vol. 39. – № 10. – P. 1580-1588.
14. Côté, D. Robust concentration determination of optically active molecules in turbid media with validated three-dimensional polarization sensitive Monte Carlo calculations / D. Côté, I.A. Vitkin // Opt. Express. – 2005. – Vol. 13. – № 1. – P. 148-163.
15. Raković, M.J. Light backscattering polarization patterns from turbid media: theory and experiment / M.J. Raković, G.W. Kattawar, M. Mehrübeoğlu, B.D. Cameron, L.V. Wang, S. Rastegar, G.L. Côté // Appl. Opt. – 1999. – Vol. 38. – № 15. – P. 3399-3408.
16. Otsuki, S. Multiple scattering of polarized light in turbid infinite planes: Monte Carlo simulations / S. Otsuki // J. Opt. Soc. Am. A. – 2016. – Vol. 33. – № 5. – P. 988-996.
17. Tynes, H.H. Monte Carlo and multicomponent approximation methods for vector radiative transfer by use of effective Mueller matrix calculations / H.H. Tynes, G.W. Kattawar, E.P. Zege, I.L. Katsev, A.S. Prikhach, L.I. Chaikovskaya // Appl. Opt. – 2001. – Vol. 40. – № 3. – P. 400-412.
18. Kaplan, B. Mueller matrix of dense polystyrene latex sphere suspensions: measurements and Monte Carlo simulation / B. Kaplan, G. Ledanois, B. Drévillon // Appl. Opt. – 2001. – Vol. 40. – № 16. – P. 2769-2777.
19. Xu, M. Electric field Monte Carlo simulation of polarized light propagation in turbid media / M. Xu // Opt. Express. – 2004. – Vol. 12. – № 26. – P. 6530-6539.
20. Zhu, C. Review of Monte Carlo modeling of light transport in tissues / C. Zhu, Q. Liu // J. Biomed. Opt. – 2013. – Vol. 18. – № 5. – P. 50902.
21. Zherebtsov, E. Hyperspectral imaging of human skin aided by artificial neural networks / E. Zherebtsov, V. Dremine, A. Popov, A. Doronin, D. Kurakina, M. Kirillin, I. Meglinski, A. Bykov // Biomed. Opt. Express. – 2019. – Vol. 10. – № 7. – P. 3545.
22. Dremine, V. Influence of blood pulsation on diagnostic volume in pulse oximetry and photoplethysmography measurements / V. Dremine, E. Zherebtsov, A. Bykov, A. Popov, A. Doronin, I. Meglinski // Appl. Opt. – 2019. – Vol. 58. – № 34. – P. 9398-9405.
23. Rafailov, I.E. Computational model of bladder tissue based on its measured optical properties / I.E. Rafailov, V.V. Dremine, K.S. Litvinova, A.V. Dunaev, S.G. Sokolovski, E.U. Rafailov // J. Biomed. Opt. – 2016. – Vol. 21. – № 2. – P. 025006.
24. Petrov, G.I. Human tissue color as viewed in high dynamic range optical spectral transmission measurements / G.I. Petrov, A. Doronin, H.T. Whelan, I. Meglinski, V.V. Yakovlev // Biomed. Opt. Express. – 2012. – Vol. 3. – № 9. – P. 2154-2161.
25. Ramella-Roman, J.C. Three Monte Carlo programs of polarized light transport into scattering media: part I / J.C. Ramella-Roman, S.A. Prahl, S.L. Jacques // Opt. Express. – 2005. – Vol. 13. – № 12. – P. 4420-4438.
26. Ramella-Roman, J.C. Three Monte Carlo programs of polarized light transport into scattering media: part II / J.C. Ramella-Roman, S.A. Prahl, S.L. Jacques // Opt. Express. – 2005. – Vol. 13. – № 25. – P. 10392-10405.
27. Witt, A.N. Multiple scattering in reflection nebulae. I – A Monte Carlo approach. / A.N. Witt // Astrophys. J. Suppl. Ser. – 1977. – Vol. 35. – P. 1-6.

28. Craig, J.J. Introduction to Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control / J.J. Craig // Prentice Hall. – 2004.
29. Benoit, D.M. Quaternion formulation of diffusion quantum Monte Carlo for the rotation of rigid molecules in clusters / D.M. Benoit, D.C. Clary // J. Chem. Phys. – 2000. – Vol. 113. – № 13. – P. 5193-5202.
30. Richartz, M. Analysis of Elliptical Polarization / M. Richartz, H.-Y. Hsü // J. Opt. Soc. Am. – 1949. – Vol. 39. – № 2. – P. 136-157.
31. Kuipers, J.B. Quaternions and Rotation Sequences: A Primer With Applications / J.B. Kuipers // Princeton: Princeton university press. – 2002. – Vol. 66. – P. 127-143.
32. Cameron, B.D. Measurement and calculation of the two-dimensional backscattering Mueller matrix of a turbid medium / B.D. Cameron, M.J. Raković, M. Mehrübeoğlu, G.W. Kattawar, S. Rastegar, L.V. Wang, G.L. Coté, // Opt. Lett. – 1998. – Vol. 23. – № 7. – P. 485-487.
33. Sawicki, J. Electric field Monte Carlo simulation of coherent backscattering of polarized light by a turbid medium containing Mie scatterers / J. Sawicki, N. Kastor, M. Xu // Opt. Express. – 2008. – Vol. 16. – № 8. – P. 5728-5738.
34. Kuzmin, V.L. Coherent effects of multiple scattering for scalar and electromagnetic fields: Monte-Carlo simulation and Milne-like solutions / V.L. Kuzmin, I.V. Meglinski // Opt. Commun. – 2007. – Vol. 273. – № 2. – P. 307-310.
35. Kuzmin, V.L. Stochastic modeling of coherent phenomena in strongly inhomogeneous media / V.L. Kuzmin, I.V. Meglinski, D.Y. Churmakov // J. Exp. Theor. Phys. – 2005. – Vol. 101. – № 1. – P. 22-32.
36. Kuzmin, V.L. Numerical simulation of coherent backscattering and temporal intensity correlations in random media / V.L. Kuzmin, I.V. Meglinskii // Quantum Electron. – 2006. – Vol. 36. – № 11. – P. 990.
37. Akkermans, E. Theoretical study of the coherent backscattering of light by disordered media / E. Akkermans, P.E. Wolf, R. Maynard, G. Maret // J. Phys. – 1988. – Vol. 49. – № 1. – P. 77-98.
38. Salpeter, E.E. A relativistic equation for bound-state problems / E.E. Salpeter, H.A. Bethe // Phys. Rev. – 1951. – Vol. 84. – № 6. – P. 1232.
39. Kirillin, M. Simulation of optical coherence tomography images by Monte Carlo modeling based on polarization vector approach / M. Kirillin, I. Meglinski, V. Kuzmin, E. Sergeeva, R. Myllylä // Opt. Express. – 2010. – Vol. 18. – № 21. – P. 21714-21724.
40. Meglinski, I. Simulation of polarization-sensitive optical coherence tomography images by a Monte Carlo method / I. Meglinski, M. Kirillin, V. Kuzmin, R. Myllylä // Opt. Lett. – 2008. – Vol. 33. – № 14. – P. 1581-1583.
41. Doronin, A. Two electric field Monte Carlo models of coherent backscattering of polarized light / A. Doronin, A.J. Radosevich, V. Backman, I. Meglinski // J. Opt. Soc. Am. A. – 2014. – Vol. 31. – № 11. – P. 2394-2400.
42. Doronin, A. Propagation of coherent polarized light in turbid highly scattering medium / A. Doronin, C. Macdonald, I. Meglinski // J. Biomed. Opt. – 2014. – Vol. 19. – № 2. – P. 025005.
43. Dremín, V.V. How the melanin concentration in the skin affects the fluorescence-spectroscopy signal formation / V.V. Dremín, A.V. Dunaev // J. Opt. Technol. – 2016. – Vol. 83. – № 1. – P. 43-48.
44. Polarized Light Monte Carlo, <https://omlc.org/software/polarization>. Accessed: 2020-04-12.
45. Cloud based Monte Carlo tool for photon transport, www.biophotonics.fi. Accessed: 2020-04-12.

Dremín Viktor Vladimirovich

Orel State University, Orel, Russia

PhD, researcher of Research and Development Center of Biomedical Photonics

302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29

Ph.: +7-4862-41-98-37

E-mail: dremín_viktor@mail.ru

Zharkikh Elena Valerievna

Orel State University, Orel, Russia

PhD student, research assistant of Research and Development Center of Biomedical Photonics

302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29

Ph.: +7-4862-41-98-37

E-mail: ev.zharkikh@gmail.com

КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА, ИСПЫТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК 006

DOI: 10.33979/2073-7408-2020-340-2-148-156

А.Н. ШИТИКОВ, С.В. САПРОНОВ

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО АКТУАЛИЗАЦИИ ДОКУМЕНТОВ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос о необходимости актуализации документов по стандартизации, определяющих требования по установке элементов систем пожарной безопасности на примере пожарных извещателей, выявлено несоответствие требований нормативной документации и технических возможностей современных пожарных извещателей, предложены корректировки в действующий свод правил исходя из практического опыта. Цель работы: повышение качества систем пожарной безопасности путём совершенствования документов по стандартизации данных систем. Используемые методы: в работе применялся формализованный метод разбора и анализа нормативных и методических документов. Новизна: к элементам новизны относятся усовершенствованные пункты действующего свода правил систем противопожарной защиты. Результат: в статье приведено сравнение технических возможностей современных пожарных извещателей с требованиями пунктов действующего свода правил систем противопожарной защиты. Сравнение показало, что требования действующего свода правил не

учитывают технические возможности современных элементов систем пожарной безопасности, а также особенности установки данных элементов в помещениях различного назначения. Практическая значимость: предложенные изменения в свод правил систем противопожарной защиты позволят повысить эффективность современных систем пожарной безопасности, исключат неоднозначное толкование требований свода правил в процессе проектирования и монтажа систем пожарной безопасности, а также предоставят возможность соответствующим лицензированным организациям шире использовать современные, технически более совершенные элементы вышеуказанных систем.

Ключевые слова: стандартизация, документы по стандартизации, свод правил, системы пожарной безопасности, извещатель пожарный.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О стандартизации в Российской Федерации: федер. закон Рос. Федерации от 29 июня 2015 г. № 162–ФЗ [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения 07.11.2019).
2. Шитиков, А. Н. Стандартизация геометрической точности в машиностроении / Шитиков А. Н., Сафонов С. В., Тотай А. В., Реутов А. А. / Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. № 1 (74). С. 60–66.
3. Куц, В. В. Взаимозаменяемость и нормирование точности в авторемонтном производстве : учебное пособие / Куц В. В., Новиков А. Н., Шитиков А. Н., Агеев Е. В.; Юго–Зап. гос. ун–т. Курск: Из–во «Университетская книга», 2019. 165 с.
4. Рахманов, М. Л. Стандартизации в РФ нужна актуализация управления системой и компетентные кадры / Рахманов М. Л. / Качество и жизнь. 2018. № 2 (18). С. 10–12.
5. Распоряжение Правительства РФ № 1762–р от 24.09.2012 г. «Об одобрении Концепции развития национальной системы стандартизации на период до 2020 года» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-pravitelstva-rf-ot-24092012-n-1762-g> (дата обращения 03.12.2019).
6. Статистические данные о пожарах в 2019 году [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://54.mchs.gov.ru/deyatelnost/nadzornaya-deyatelnost-i-profilakticheskaya-rabota/statisticheskie-dannye/statisticheskie-dannye-o-pozharah-v-2019-godu> (дата обращения 03.12.2019).
7. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 № 123–ФЗ [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (дата обращения 11.12.2019).
8. СП 5.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования. – Введ. 2009–05–01. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – 116 с.
9. Нормы пожарной безопасности НПБ 88–2001 «Установки пожаротушения и сигнализации. Нормы и правила проектирования». – Введ. 2002–01–01. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003. – 119 с.
10. Классификация пожарных извещателей [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://pozharная-bezopasnost.ru/klassifikaciya-pozharnyx-izveshhatelej> (дата обращения 24.11.2019).
11. Извещатель пожарный дымовой оптико–электронный адресно–аналоговый ДИП–34А–03 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://bolid.ru/production/orion/ops-subsystems/spi2000a/dip-34a-03> (дата обращения 24.11.2019).
12. Аргус–Спектр [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://catalog.argus-spectr.ru/index.php?path=ru/node/4/catalog/tovar/318&cat=192> (дата обращения 24.11.2019).
13. Пожарная сигнализация «Стрелец»: описание, характеристики, инструкция [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://fb.ru/article/433324/pojarnaya-signalizatsiya-strelets-opisanie-harakteristiki-instruktsiya> (дата обращения 26.11.2019).
14. Монтаж пожарной сигнализации [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://psr24.ru/catalog/ohrannopogarnie-signalizacii/sistem-pozharotusheniya> (дата обращения 26.11.2019).
15. О характеристиках извещателей ДИП–34А и С2000 ИП [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://st-dv.com/cat_uploads/files/bolid_ru_dip_34a_s2000_ip_vniipo.pdf (дата обращения 18.11.2019).

Шитиков Александр Николаевич

ФГБОУ ВО «Юго–Западный государственный университет», г. Курск
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Стандартизация, метрология, управление качеством, технология и дизайн»
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94
Тел. (4712) 32–60–90
E-mail: dr-aleks79@yandex.ru

Сапронов Сергей Владимирович

ООО «Системы Пожарной Сигнализации», Московская обл.
Магистр по направлению подготовки 27.04.01 «Стандартизация и метрология», инженер
140055, Московская обл., г. Котельники, мкр. Белая дача, д. 51
E-mail: serg-661@yandex.ru

RECOMMENDATIONS FOR UPDATING DOCUMENTS ON STANDARDIZATION FIRE SAFETY SYSTEMS

Abstract. The article considers the need to update the documents on standardization, defining the requirements for the installation of elements of fire safety systems on the example of fire detectors, revealed the discrepancy between the requirements of normative documentation and technical capabilities of modern fire detectors, proposed adjustments to the current body of rules based on practical experience. Objectives: Improving the quality of fire safety systems by improving the documents for standardization of these systems. Methods Applied: In the work, a formalized method of analysis and analysis of normative and methodological documents was used. Originality: The novelty elements include improved clauses of the current body of rules of fire protection systems. Findings: The article compares the technical capabilities of modern fire detectors with the requirements of the points of the current body of rules of fire protection systems. The comparison showed that the requirements of the current body of rules do not take into account the technical capabilities of modern elements of fire safety systems, as well as the features of installing these elements in rooms for various purposes. Practical Relevance: The proposed changes to the body of rules for fire protection systems will increase the efficiency of modern fire safety systems, eliminate the ambiguous interpretation of the requirements of the body of rules in the design and installation of fire safety systems, and also provide an opportunity for the relevant licensed organizations to make wider use of modern, more technologically advanced elements of the above systems.

Keywords: Standardization, standardization documents, body of rules, fire safety systems, fire detector.

BIBLIOGRAPHY

1. The Federal Law «On Standardization in the Russian Federation» of June 29, 2015 №162–FZ [Electronic resource] / Access mode: <http://www.consultant.ru> (date of the application 02.10.2019).
2. Shitikov, A. N. Standartizatsiya geometricheskoy tochnosti v mashinostroyenii [Text] / Shitikov A. N., Safonov S. V., Totaj A. V., Reutov A. A. / Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2019. № 1 (74). P. 60–66.
3. Kuc, V. V. Vzaimozamenyaemost i normirovanie tochnosti v avtoremontnom proizvodstve [Text]: uchebnoe posobie / Kuc V. V., Novikov A. N., Shitikov A. N., Ageev E. V.; Yugo–Zap. gos. un–t. Kursk: Iz–vo «Universitetskaya kniga», 2019. 165 p.
4. Rahmanov, M. L. Standartizatsii v RF nuzhna aktualizatsiya upravleniya sistemoy i kompetentnye kadry [Text] / Rahmanov M. L. / Kachestvo i zhizn. 2018. № 2 (18). P. 10–12.
5. Rasporyazhenie Pravitelstva RF № 1762–r ot 24.09.2012 g. «Ob odobrenii Konceptii razvitiya nacionalnoy sistemy standartizatsii na period do 2020 goda» [Electronic resource] / Access mode: <https://legalacts.ru/doc/rasporyazhenie-pravitelstva-rf-ot-24092012-n-1762-r> (date of the application 03.12.2019).
6. Statisticheskie dannye o pozharah v 2019 godu [Electronic resource] / Access mode: <https://54.mchs.gov.ru/deyatelnost/nadzornaya-deyatelnost-i-profilakticheskaya-rabota/statisticheskie-dannye/statisticheskie-dannye-o-pozharah-v-2019-godu> (date of the application 03.12.2019).
7. The Federal law of 22.07.2008 №. 123–FZ Technical regulations for fire safety requirements [Electronic resource] / Access mode: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699 (date of the application 11.12.2019).
8. SP 5.13130.2009 Systems of fire protection. Automatic fire–extinguishing and alarm systems. Designing and regulations rules [Text]. – Vved. 2009–05–01. – M.: FGU VNIPO MCHS Russian, 2009. – p 7.
9. NPB 88–2001 Fire–extinguishing and alarm systems. Designing and regulations norms [Text] – Vved. 2002–01–01. – M.: FGU VNIPO MCHS Rossii, 2003. – 119 p.
10. Klassifikatsiya pozharnykh izveshchatelej [Electronic resource] / Access mode: <https://pozharная-bezopasnost.ru/klassifikatsiya-pozharnykh-izveshchatelej> (date of the application 24.11.2019).
11. Izveshchatel pozharnykh dymovoy optiko–elektronnyy adresno–analogovyy DIP–34A–03 [Electronic resource] / Access mode: <https://bolid.ru/production/orion/ops-subsystems/spi2000a/dip-34a-03> (date of the application 24.11.2019).
12. Argus–Spektr [Electronic resource] / Access mode: <http://catalog.argus-spectr.ru/index.php?path=ru/node/4/catalog/tovar/318&cat=192> (date of the application 24.11.2019).
13. Pozharnaya signalizatsiya «Strelec»: opisanie, harakteristiki, instruktsiya [Electronic resource] / Access mode: <https://fb.ru/article/433324/pojarnaya-signalizatsiya-strelets-opisanie-harakteristiki-instruktsiya> (date of the application 26.11.2019).
14. Montazh pozharnoy signalizatsii [Electronic resource] / Access mode: <http://psr24.ru/catalog/ohrannopogarnie-signalizatsii/sistem-pozharotusheniya> (date of the application 26.11.2019).
15. O harakteristikah izveshchatelej DIP–34A i S2000 IP [Electronic resource] / Access mode: http://st-dv.com/cat_uploads/files/bolid_ru_dip_34a_s2000_ip_vniipo.pdf (date of the application 18.11.2019).

Shitikov Aleksandr Nikolaevich

The Southwest State University (SWSU), Kursk
Candidate of sciences in technology, associate professor
of the department of standardization, metrology, quality
management, technology and design
305040, Kursk, 50 let Oktyabrya street, 94
Ph.: (4712) 32–60–90
E–mail: dr–aleks79@yandex.ru

Sapronov Sergej Vladimirovich

Fire Alarm Systems LLC
magister, engineer
Moscow region, Kotelniki, Belaya dacha microdistrict, 51
E–mail: serg–661@yandex.ru

Я.Н. ГУСЕНИЦА, В.Л. РЖАВИТИН, С.А. ШЕРСТОБИТОВ

К ВОПРОСУ ОЦЕНИВАНИЯ КРИТИЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация. В работе представлен научно–методический подход, который позволяет формализовать определение надёжности эргатической системы путем определения её критических элементов. В основе предложенного подхода лежит матричный метод определения качества функционирования сложной эргатической системы. Интегральный показатель является численным выражением вероятности безотказной работы системы. Вычисление его для всех различных вариантов размещения «источка» функционирования системы позволяет выявить наиболее критические элементы для обеспечения максимальной безотказности. На конкретном примере показано действительная зависимость значения безотказности системы от исходного графа ее функционирования.

Ключевые слова: эргатическая система, безотказность, безошибочность, вероятность безотказной (безошибочной) работы, матричный метод, критический элемент, ориентированный граф, матрица смежности, стохастический граф.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев В.Г., Зеленцов В.А., Миронов А.Н. Методы анализа надежности и критичности отказов сложных систем. – СПб.: МО РФ, 1992. – 99 с.
2. Гусеница Я.Н. Имитационно–аналитическая модель надежности программного обеспечения // Информационные системы и технологии. 2019. № 5 (115). С. 10–17.
3. Гусеница Я.Н., Кругляк Ю.Л., Петрич Д.О. О некоторых особенностях надежности программного обеспечения автоматизированных систем управления войсками // Труды Военно–космической академии имени А.Ф. Можайского. 2013. №638. С. 31–36.
4. Дементьев А.А. «Умный» дом XXI века. – М.: Издательские решения, 2016. – 100 с.
5. Платонов Г.А. Эргономика на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1986. – 296 с.
6. Смагин В.А. Техническая синергетика. Вероятностные модели сложных систем. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2004. – 172 с.
7. Смагин В.А., Новиков А.Н. О подходе к обеспечению метрологической надежности эргатических систем управления // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. № 2. С. 464–477.
8. Шерстобитов С.А., Новиков А.Н. Определение критичности узлов информационной управляющей сети с учетом контроля // Ученые записки Комсомольского–на–Амуре государственного технического университета. 2016. Т. 1. № 3 (27). С. 47–52.
9. Cheung R.C. A User–Oriented Software Reliability Model // IEEE Transactions On Software Engineering. 1980. V. 6. ISS. 2. Pp. 118–125.

Гусеница Ярослав Николаевич
ФГАУ «Военный
инновационный технополис
«ЭРА»,
к.т.н., начальник
испытательной лаборатории
353456, Краснодарский край, г.
Анапа, Пионерский пр., 28
Тел. 89818315029
E–mail: yaromir226@gmail.com

Ржавитин Вячеслав Леонидович
ФГАУ «Военный
инновационный технополис
«ЭРА»,
начальник испытательной
лаборатории
353456, Краснодарский край, г.
Анапа, Пионерский пр., 28
Тел. 891187401915
E–mail: fizik4929@yandex.ru

Шерстобитов Сергей Александрович
ФГБУ «Главный научный
метрологический центр»
Министерства обороны Российской
Федерации,
к.т.н., старший научный сотрудник
141006, Московская обл., г. Мытищи,
ул. Комарова, 13
Тел. 89067662255
E–mail: radosti_yad@mail.ru

Ya.N. GUSENITSA, V.L. RZHAVITIN, S.A. SHERSTOBITOV

TO THE QUESTION OF EVALUATING CRITICITY OF ELEMENTS OF ERGATIC SYSTEM

Abstract. The paper presents a scientific and methodological approach that allows to formalize the definition of the reliability of the ergatic system by determining its critical elements. The proposed approach is based on a matrix

method for determining the performance of a complex ergatic system. The integral index is a numerical expression of the system performance. Calculating it for all the different variants of placing the «source» of the system operation allows you to identify the most critical elements to ensure maximum performance. The actual dependence of the value of the integral index of the system on the initial graph of its functioning is shown on a specific example.

Keywords: ergatic system, system performance, uptime probability, matrix method, critical element, oriented graph, adjacency matrix, stochastic graph.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Afanasyev V.G., Zelentsov V.A., Mironov A.N. Methods for analyzing the reliability and criticality of failures of complex systems. – SPb.: Ministry of Defense of the Russian Federation, 1992. – 99 p.
2. Gusenitsa Ya.N. Simulation–analytical model of software reliability // Information systems and technologies. 2019. No 5 (115). Pp. 10–17.
3. Gusenitsa Ya.N., Kruglyak Yu.L., Petrich D.O. On some features of the reliability of software in automated systems for command and control of troops // Proceedings of the Academy of Mozhaisky. 2013. No. 638. Pp. 31–36.
4. Dementiev A.A. «Smart» house of the XXI century. – M.: Publishing decisions, 2016. – 100 p.
5. Platonov G.A. Ergonomics in railway transport. – M.: Transport, 1986. – 296 p.
6. Smagin V.A. Technical synergetics. Probabilistic models of complex systems. – SPb.: VKA named after A.F. Mozhaysky, 2004. – 172 p.
7. Smagin V.A., Novikov A.N. On the approach to ensuring metrological reliability of ergatic control systems // Bulletin of Tula State University. Technical science. 2018. No. 2. Pp. 464–477.
8. Sherstobitov S.A., Novikov A.N. Determining the criticality of the nodes of the information management network taking into account control // Scientific notes of Komsomolsk–on–Amur State Technical University. 2016. Vol. 1. No. 3 (27). Pp. 47–52.
9. Cheung R.C. A User–Oriented Software Reliability Model // IEEE Transactions On Software Engineering. 1980. V. 6. ISS. 2. Pp. 118–125.

Gusenitsa Yaroslav Nikolayevich
Military Innovation Technopolis
«ERA»,
PhD, Head of Testing Laboratory
353456, Krasnodar Territory,
Anapa, Pioneer Ave., 28
Tel. 89818315029
E–mail: yaromir226@gmail.com

Rzhavitin Vyacheslav Leonidovich
Military Innovation Technopolis
«ERA»,
Head of Testing Laboratory
353456, Krasnodar Territory, Anapa,
Pioneer Ave., 28
Tel. 891187401915
E–mail: fizik4929@yandex.ru

Sherstobitov Sergey Alexandrovich
The main scientific metrological
center,
PhD, Major Researcher
141006, Moscow region, Mytishchi,
st. Komarova, 13
Тел. 89067662255
E–mail: radosti_yad@mail.ru

Адрес издателя:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302026, 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, г. Орел, ул. Московская, 34
+7(920)2806645, +7(906)6639898

<http://oreluniver.ru>
E-mail: radsu@rambler.ru

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 28.04.2020 г.
Дата выхода в свет
Формат 60х88 1/8. Усл. печ. л. 10,25
Цена свободная. Тираж 600 экз.
Заказ _____

Отпечатано с готового оригинал–макета
на полиграфической базе ИП Синяев В.В.
302001, г. Орел, ул. Розы Люксембург, 10а