

ISSN 2073-7408

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

3 (353) 2022

Редколлегия

Главный редактор

Радченко С.Ю. д-р техн. наук, проф.

Заместители главного редактора:

Барсуков Г.В. д-р техн. наук, проф.

Гордон В.А. д-р техн. наук, проф.

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

Поляков Р.Н. д-р техн. наук, проф.

Шоркин В.С. д-р физ.-мат. наук, проф.

Члены редколлегии:

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

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

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

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

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

Зубчиных 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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ответственный секретарь:

Тюхта А.В. канд. техн. наук

Адрес редакции

302030, Орловская обл., г. Орел, ул.

Московская, 34

+7 (905) 169 88 99

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

E-mail: radsu@rambler.ru

Зарег. в Федеральной службе по
надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС77-67029
от 30 августа 2016 года

Подписной индекс 29504

по объединенному каталогу

«Пресса России»

на сайтах www.ppressa-rf.ru и www.aks.ru

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2022

Содержание

Теоретическая механика и ее приложения

- Шоркин В.С., Ромашин С.Н., Хорошилова М.В., Якушина С.И. Подтверждение появления
дефектности при упрочнении из-за ее энергетической предпочтительности..... 3

Механика деформируемого твердого тела, динамика и прочность

- Сафина Г.Ф. Единственность и корректность решения задачи сохранения частот
поперечных колебаний трубопровода с жидкостью на шарнирных опорах..... 9
- Поддубный А.А., Гордон В.А., Потураева Т.В., Дерли О.А. Вынужденные колебания
балки на упругом основании при внезапном трещинообразовании..... 15

Машиностроительные технологии и оборудование

- Кожус О.Г., Барсуков Г.В., Шоркин В.С., Фроленкова Л.Ю. Исследование условий
запайки агломератов абразивных частиц на стенках камеры установки
псевдоожижения при формировании соединения абразив-полимер..... 22
- Барсуков Г.В., Журавлева Т.А., Селемеева Е.М. Исследование влияния режимов
химико-термической обработки медного шлака на его прочность при
гидроабразивном резании..... 28
- Воробьев В.И., Злобин С.Н., Измеров О.В., Николаев Е.В. Методы комплексного
анализа динамической системы тягового привода локомотива..... 34
- Морев П.Г., Капырин К.И., Голенков В.А., Радченко С.Ю., Дорохов Д.О., Прокопов И.О.
Построение кривых упрочнения в условиях интенсивной пластической
деформации..... 43
- Крупеня Е.Ю., Курдюмова Л.Н., Шамрин А.В., Крыгина Е.П. Экспериментальные
исследования вибропротирки деталей средами органического происхождения..... 54

Машиноведение и мехатроника

- Горин А.В., Зарецкий Р.К., Поздняков А.К. Анализ методов управления и
классификаций для диагностирования аномальных состояний..... 59
- Савин Л.А., Козырев Д.Л., Романов В.В., Иванов О.А. Исследование динамических
свойств механической виброзащитной системы в зависимости от габаритных
размеров..... 67
- Майоров С.В., Бондаренко М.Э., Токмакова М.А., Позднякова В.А. Исследование
динамики ассиметричного ротора в активных комбинированных опорах..... 73
- Сытин А.В., Корнеев А.Ю., Киричек А.А., Кнодель И.В. Применение упорных
мехатронных лепестковых подшипников в турбомашинных системах распределенной
энергетики..... 82
- Родичев А.Ю., Поляков Р.Н., Родичева И.В., Настепанин К.К. Мониторинг и
диагностика изнашивания рабочей поверхности подшипника скольжения..... 92
- Шутин Д.В., Фетисов А.С. Анализ точности показаний датчиков перемещений при
определении положения ротора в опорах жидкостного трения..... 97
- Корнаев А.В., Антонов С.Д., Настепанин К.К. Уточнение математической модели
развития частичных разрядов в дефекте изоляции..... 103

Приборы, биотехнические системы и технологии

- Плахотникова М.А., Ефремова Е.А., Лысянникова Н.Н. Результаты исследования
механизма термоокисления авиационного масла..... 110
- Стельмащук О.А., Шуплецов В.В., Жеребцов Е.А. Технология транскутанной оценки
активности моноаминоксидаз на основе анализа параметров флуоресценции..... 118
- Долгих А.И., Стельмащук О.А., Жеребцов Е.А. Регистрация параметров времени
жизни флуоресценции для оценки патологического состояния клеток при
нейродегенеративных заболеваниях..... 127
- Хлопотов Р.С. Анализ трендов медицинской информатики..... 135
- Марков О.И. Динамика температурного поля ветви термоэлектрического
охладителя при степенной зависимости амплитуды импульса тока..... 148
- Галкин И.А., Лукьянов Г.Н. Метод повышения чувствительности датчиков дыма к
различным источникам задымления..... 154
- Лисичкин В.Г., Лисичкина Н.В. Дискриминаторный метод оценки фазового сдвига..... 163

Контроль, диагностика, испытания и управление качеством

- Иванов Ю.Н., Давыдова Н.В., Ремизов Ю.А., Иванов В.О., Любимов В.А. Особенности
обеспечения единства измерений в единой сети электросвязи Российской
Федерации при присоединении сетей связи специального назначения к сетям
связи общего пользования..... 171
- Незнанов А.И., Подмастерьев К.В., Суслов О.А. Бесхордовые методы измерения
вертикальных неровностей железнодорожного пути..... 179

Editorial Committee

Editor-in-chief

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

Editor-in-chief Assistants:

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

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

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

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

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

Member of editorial board:

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

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

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

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

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

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

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

Savin L.A. 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, Oryol region, Oryol, st.

Moskovskaya, 34

+7 (905) 169 88 99

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

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

on the websites www.pressa-ri.ru

and www.aks.ru

© Orel State University, 2022

Contents

Theoretical mechanics and its applications

- Shorkin V.S., Romashin S.N., Khoroshilova M.V., Yakushina S.I. Confirmation of the appearance of defects during hardening due to its energy preference 3

Mechanics of deformable solids, dynamics and strength

- Safina G.F. Uniqueness and correctness of decision tasks of preservation of transverse oscillation frequencies of pipeline with liquid on hinged supports 9
- Poddubny A.A., Gordon V.A., Poturaeva T.V., Derli O.A. Forced vibrations of a beam on an elastic foundation with sudden cracking 15

Machine-building technologies and equipment

- Kozhus O.G., Barsukov G.V., Shorkin V.S., Frolenkova L.Yu. Investigation of conditions for sticking of agglomerates of abrasive particles on the walls of a fluidization unit chamber during the formation of abrasive-polymer compound 22
- Barsukov G.V., Zhuravleva T.A., Selemenova E.M. Study of the influence of modes of chemical and thermal treatment of copper slag on its strength at waterjet cutting 28
- Vorobyev V.I., Izmerov O.V., Zlobin S.N., Nikolaev E.V. Complex method of dynamic system analysis for locomotive traction drive 34
- Morev P.G., Kapyrin K.I., Golenkov V.A., Radchenko S.Y., Dorohov D.O., Prokopov I.O. Construction of a stress-strain curve under severe plastic deformation 43
- Krupenya E.Y., Kurdyumova L.N., Shamrin A.V., Krygina E.P. Experimental investigations of vibrating parts with media of organic origin 54

Machine Science and Mechatronics

- Gorin A.V., Zaretskiy R.K., Pozdnyakov A.K. Analysis of control methods and classifications for diagnosing anomalous states 59
- Savin L.A., Kozyrev D.L., Romanov V.V., Ivanov O.A. Study of dynamic properties mechanical vibration protection system depending on dimensions 67
- Maierov S.V., Bondarenko M.E., Tokmakova M.A., Pozdnyakova V.A. Investigation of the dynamics of an asymmetric rotor in active combined supports 73
- Sytin A.V., Korneev Y.S., Kirichek A.A., Knodel I.V. Designing mechatronic resistant sliding bearings with elastic bimorph elements 82
- Rodichev A.Yu., Polyakov R.N., Rodicheva I.V., Nastepanin K.K. Monitoring and diagnosis of wear of the working surface of a plain bearing 92
- Shutin D.V., Fetisov A.S. Accuracy of vibration sensors in problems of active control of rotor systems 97
- Kornaev A.V., Antonov S.D., Nastepanin K.K. Refined mathematical model of development of private discharge in insulation defect 103

Devices, biotechnical systems and technologies

- Plakhotnikova M.A., Efremova E.A., Lysyannikova N.N. Results of the study of the mechanism of thermal oxidation of aviation oil 110
- Stelmashchuk O.A., Shupletsov V.V., Zherebtsov E.A. Novel technique for transcutaneous assessment of monoamine oxidase activity based on the analysis of skin fluorescence parameters 118
- Stelmashchuk O.A., Dolgikh A.I., Zherebtsov E.A. Use of fluorescence lifetime to assess the pathological state of cells in neurodegenerative diseases 127
- Khlopotov R.S. Analysis of trends in the field of medical informatics 135
- Markov O.I. Dynamics of the temperature field of the thermoelectric cooler branch with a power dependence of the amplitude of the current pulse 148
- Galkin I.A., Lukjanov G.N. Method of increasing the sensitivity of smoke sensors to various sources of smoke 154
- Lisichkin V.G., Lisichkina N.V. Estimation of phase shift at autogenerating measurements 163

Monitoring, Diagnostics, Testing and Quality Management

- Davydova N.V., Ivanov Y.N., Remizov Y.A., Ivanov V.O., Lubimov V.A. Features of ensuring uniformity of measurements in the unified telecommunication network of the Russian Federation when connecting special-purpose communication networks to public communication networks 171
- Neznanov A.I., Podmasteryev K.V., Suslov O.A. Chord-less methods for measuring vertical irregularities of the railway track 179

The journal is included in the «List of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for obtaining the scientific degree of the candidate of sciences, for the academic degree of the doctor of sciences» of the Higher Attestation Commission for the following groups of scientific specialties:

05.02.02. Mechanical engineering of drive systems and machine parts (technical sciences), **05.02.18.** Theory of mechanisms and machines (technical sciences), **05.02.23.** Standardization and product quality management (technical sciences), **2.2.4.** Instruments and measurement methods (by types of measurements) (technical sciences), **2.2.5.** Navigation devices (technical sciences), **2.2.8.** Methods and devices for monitoring and diagnosing materials, products, substances and the natural environment (technical sciences), **2.2.11.** Information-measuring and control systems (technical sciences), **2.2.12.** Devices, systems and products for medical purposes (technical sciences), **2.5.3.** Friction and wear in machines (technical sciences), **2.5.4.** Robots, mechatronics and robotic systems (technical sciences), **2.5.5.** Technology and equipment for mechanical and physical-technical processing (technical sciences), **2.5.6.** Engineering technology (technical sciences), **2.5.7.** Technologies and machines for forming (technical sciences).

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

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

УДК 539.3

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-353-3-8

В.С. ШОРКИН, С.Н. РОМАШИН, М.В. ХОРОШИЛОВА, С.И. ЯКУШИНА

ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ПОЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТНОСТИ ПРИ УПРОЧНЕНИИ ИЗ-ЗА ЕЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНОСТИ

Аннотация. В предлагаемой публикации приводится подтверждение на основе имеющихся в литературе теоретических и экспериментальных данных полученного авторами выражения для вероятности обнаружения дефекта структуры упрочненного материала. Выражение получено на основании предположения о том, что причиной дефектности материала при его упрочнении является энергетическая предпочтительность состояния с дефектами по сравнению с состоянием без них. Полученное в работе качественное согласование теоретических выводов с известными данными принято в качестве признака искомого подтверждения.

Ключевые слова: упрочнение, дефект, поврежденность, нелокальная теория, минимизация потенциальной энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аптуков В. Н. Модель упруго - поврежденной ортотропной среды // Вестник пермского университета. Математика. Механика. Информатика. – 2007. – Т. 12, В. 7. – С. 84 – 90.
2. Метод эффективного поля в механике композитных материалов/ С. К. Канаун, В. М. Левин; Петрозаводский гос. ун-т. Петрозаводск, 1993. 600 с.
3. Kachanov M., Sevostianov I. Effective properties of heterogeneous materials. - Dordrecht: Springer, 2013.
4. Качанов Л.М. Основы механики разрушения. – М.: Наука, 1974. – 311 с.
5. Работнов Ю.Н. О механизме длительного разрушения // Вопросы прочности материалов и конструкций. М.: Изд-во АН СССР, 1959. - С. 5 –7. Работнов Ю.Н. О разрушении твердых тел // Проблемы механики твердого деформируемого тела. – Л.: Судостроение, 1970. – С. 66 – 70.
6. Vilchevskaya E., Freidin A. On phase transformations of an inclusion in an external strain ϵ_{eld} // Proceedings Advanced Problems in Mechanics APM 2004, Russian Academy of Sciences, IPME RAS, 2004. P. 447_454.
7. 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. – V. 12, N. 21. – pp. 11094-11100.
8. Шоркин В.С., Ромашин С.Н., Хорошилова М.В., Тинякова Е.В. Расчет дефектности материала при однородном напряженно-деформированном состоянии // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2022. – С. 21 – 28.
9. Presnetsova V. Yu., Romashin S. N., Frolenkova L. Yu., Shorkin V. S., Yakushina S. I. A variant of the description of the adhesion interaction in the probe-sample system of an atomic force microscope // Nanoscience and Technology: An International Journal, V. 9, Iss. 4, pp. 299-323, 2018. DOI: 10.1615/NanoSciTechnolIntJ.2018026714.
10. Golenkov V.A., SHorkin V.S., YAkushina S.I. Matematicheskaya model' opisaniya nelokal'nyh. vzaimodejstvij chastic kontinuum // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. 2020 - № 6 (344) - S. 3 – 11.
11. R.J. Asaro, S. Suresh / Acta Materialia 53 (2005) 3369–3382.
12. Малыгин Г.А. Пластичность и прочность микро - и нанокристаллических материалов// Физика твердого тела, 2007, том 49, вып. 6. С. 961 – 9
13. Фирстов С.А., Рогуль Т.Г. Теоретическая (предельная) твердость // Reports of National Academy of Sciences of Ukraine, 2007, № 4, С. 110 – 114.
14. Эволюция фазового состава, дефектной структуры, внутренних напряжений и перераспределение углерода при отпуске литой конструкционной стали / Э.В. Козлов, Н.А. Попова, О.В. Кабакина, С.И. Климашин, В.Е. Громов; СибГИУ. - Новокузнецк, 2007. - 177 с.
15. Скиба Н.В. Зернограничные механизмы релаксации напряжений несоответствия в нанокристаллических пленках и покрытиях // Materials Physics and Mechanics. – 2014. – Т. 19. – С. 68-87.
16. Petch N (1973) Metallograficheskie aspekty razrusheniia [metallographic aspects of damage]. Redaktsiia G Libovits Razrushenie, Moskva: Mir 1:376–42.

17. G. A. Malygin. Defects and Impurity Centers, Dislocations, and Physics of Strength // Physics of the Solid State volume 50, pages1056–1060 (2008).

Шоркин Владимир Сергеевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

Доктор физико-математических наук,

Профессор кафедры

технической физики и математики

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29

Тел. +79606550077

E-mail: v.s.shorkin@yandex.ru

Ромашин Сергей Николаевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

Кандидат физико-математических наук, доцент
кафедры

технической физики и математики

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29

Тел. +79192677126

E-mail: sromashin@yandex.ru

Хорошилова Маргарита Вячеславовна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

Кандидат физико-математических наук, доцент

кафедры технической физики и математики

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29

Тел. +79192687520

E-mail: hamster08@yandex.ru

Якушина Светлана Ивановна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

Кандидат технических наук

Доцент кафедры технической физики и математики

Тел. +79536169951

e-mail: Jakushina@rambler.ru

V.S. SHORKIN, S.N. ROMASHIN, M.V. KHOROSHILOVA, S.I. YAKUSHINA

CONFIRMATION OF THE APPEARANCE OF DEFECTS DURING HARDENING DUE TO ITS ENERGY PREFERENCE

Annotation. *The proposed publication provides confirmation on the basis of theoretical and experimental data available in the literature of the expression obtained by the authors for the probability of detecting a defect in the structure of a hardened material. The expression is obtained on the basis of the assumption that the cause of the defect of the material during its hardening is the energy preference of the state with defects compared to the state without them. The qualitative agreement of theoretical conclusions obtained in the work with known data is accepted as a sign of the desired confirmation.*

Keywords: *hardening, defect, damage, nonlocal theory, minimization of potential energy.*

BIBLIOGRAPHY

1. Aptukov V. N. Model of an elastically damaged orthotropic medium // Bulletin of Perm University. Mathematics. Mechanics. Computer science. - 2007. – Vol. 12, V. 7. – pp. 84-90.
2. The effective field method in the mechanics of composite materials/ S. K. Kanaun, V. M. Levin; Petrozavodsk State University. Petrozavodsk, 1993. 600 p.
3. Kachanov M., Sevostyanov I. Effective properties of heterogeneous materials. - Dordrecht: Springer, 2013.
4. Kachanov L.M. Fundamentals of fracture mechanics. – M.: Nauka, 1974. – 311 p.
5. Worknov Yu.N. On the mechanism of long-term destruction // Questions of strength of materials and structures. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1959. - pp. 5-7. Worknov Yu.N. On the destruction of solids // Problems of mechanics of a solid deformable body. – L.: Shipbuilding, 1970. – pp. 66-70.
6. Vilchevskaya E., Freydin A. On phase transformations of inclusion in an external deformation field // Proceedings of APM 2004. Russian Academy of Sciences, IPME RAS, 2004. p. 447_454.
7. Grydunov I. M., Golenkov V. A., Pilipenko O. V., Radchenko S. Ya. Hardening treatment by plastic deformation under conditions of complex local loading of the deformation zone // International Journal of Applied Engineering Research. - 2017. – Vol. 12, No. 21. – pp. 11094-11100.
8. Shorkin V.S., Romashin S.N., Khoroshilova M.V., Tinyakova E.V. Calculation of material defects in a homogeneous stress-strain state // Fundamental and applied problems of engineering and technology. – 2022. – p. 21 – 28.
9. Presnetsova V. Yu., Romashin S. N., Frolenkova L. Yu., Shorkin V. S., Yakushina S. I. A variant of the description of adhesive interaction in the probe-sample system of an atomic force microscope // Nanoscience and Technology: International Journal, Vol. 9, Iss. 4, pp. 299-323, 2018. DOI: 10.1615/NanoSciTechnolIntJ.2018026714.
10. Golenkov V.A., Shorkin V.S., Yakushina S.I. Mathematical model of description of nonlocal. interaction of a partial continuum // Fundamental and applied problems of engineering and technology. 2020. - No. 6 (344) - pp. 3-11.
11. R.J. Asaro, S. Suresh / Acta Materialia 53 (2005) 3369-3382.
12. Malygin G.A. Plasticity and strength of micro- and nanocrystalline materials// Solid State Physics, 2007, volume 49, vol. 6. pp. 961 – 9

13. Firstov S.A., Rogul T.G. Theoretical (marginal) hardness // Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2007, No. 4, pp. 110 – 114.
14. Evolution of phase composition, defective structure, internal stresses and carbon overdistribution during tempering of cast structural steel / E.V. Kozlov, N.A. Popova, O.V.Kabalina, S.I. Klimashin, V.E. Gromov; SibGIU. Novokuznetsk, 2007.- 177 p.
15. Skiba N.V. Grain boundary mechanisms of stress relaxationconformity in nanocrystalline films and coatings // Physics and Mechanics of materials. – 2014. – Vol. 19. – pp. 68-87.
16. Petch N. (1973) Metallographic aspects of destruction. Edited by G. Libovits Destruction, Moscow: Mir 1:376-42.
17. G. A. Malygin. Defects and impurity centers, Dislocations and strength physics // Solid State Physics, Volume 50, pages 1056-1060 (2008).

Shorkin Vladimir Sergeevich

I.S. Turgenev OSU
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor of the Department of Technical Physics and
Mathematics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79606550077
E-mail: v.s.shorkin@yandex.ru

Romashin Sergey Nikolaevich

I.S. Turgenev OSU
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate
Professor of the Department
of Technical Physics and Mathematics
302020, Orel, Naugorskoe highway, 29
Tel. +79192677126
E-mail: hamster08@yandex.ru

Khoroshilova Margarita Vyacheslavovna

I.S. Turgenev OSU
Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor of the Department of Technical
Physics and Mathematics
302020, Orel, Naugorskoe highway, 29
Tel. +79192687520
E-mail: hamster08@yandex.ru

Yakushina Svetlana Ivanovna

I.S. Turgenev OSU
Candidate of Technical Sciences
Associate Professor of the Department of Technical Physics
and Mathematics
Tel. +79536169951
e-mail: Yakushina@rambler.ru

© Шоркин В.С., Ромашин С.Н., Хорошилова М.В., Якушина С.И., 2022

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА, ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ

УДК 517.984, 54.534, 51.74

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-353-3-9-14

Г.Ф. САФИНА

ЕДИНСТВЕННОСТЬ И КОРРЕКТНОСТЬ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СОХРАНЕНИЯ ЧАСТОТ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ТРУБОПРОВОДА С ЖИДКОСТЬЮ НА ШАРНИРНЫХ ОПОРАХ

Аннотация: В статье представлены результаты решения задачи сохранения безопасных частот свободных поперечных колебаний трубопровода с жидкостью при упругих его шарнирных опорах. Исследован вопрос о существовании решения задачи. Доказана единственность решения с учетом корректности поставленной задачи по А.Н. Тихонову. Исследован и найден алгоритм решения задачи сохранения первых трех частот колебаний трубопровода с жидкостью с помощью соответствующих изменений в коэффициентах жесткости его упругих шарнирных опор. Получены аналитические формулы расчетов коэффициентов жесткости упругих опор, подтверждающие доказанную единственность решения задачи сохранения частот колебаний. Приведен численный расчет сохранения безопасных частот колебаний при изменениях параметров жидкости или трубопровода.

Ключевые слова: изгибные колебания, трубопровод с жидкостью, единственность, корректность по А.Н. Тихонову, параметры жидкости, сохранение частот, коэффициенты жесткости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахтямов А.М. Теория идентификации краевых условий и ее приложения. – М.: Физматлит, 2009. – 272 с.
2. В.А. Юрко Введение в теорию обратных спектральных задач. – М.: Физматлит, 2007. – 384 с.
3. Ватульян А. О. Обратные и некорректные задачи: Учеб. / А. О. Ватульян, О. А. Беляк, Д. Ю. Сухов, О. В. Явруян. Ростов н/Д: Изд-во Южного федерал. ун-та, 2011. – 232с.
4. Гордон В.А., Потураева Т.В., Семенова Г.А. Собственные поперечные колебания балки, частично опертой на упругое основание. // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2015. № 6 (314). – С. 3-10.
5. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в 3-х томах. Т.1 / Под ред. А. Биргера, Я.Г. Пановко. – М.: Машиностроение, 1983. – 415 с.
6. Ahmadian H., Mottershead J. E., Friswell M. I. Boundary condition identification by solving characteristic equation // J. Sound Vibrat. – 2001. № 247. – S. 755-763.
7. Hung-Jen Liu, Nien-Sheng Hsu, Tim Hau Lee. Simultaneous identification of parameter, initial condition, and boundary condition in groundwater modelling // Hydrol. Process. – 2009. № 23. – S. 2358-2367.
8. Ильгамов М. А. Колебания упругих оболочек, содержащих жидкость и газ. – М.: Наука, 1969. – 182 с.
9. Сафина Г.Ф. Моделирование в диагностировании закреплений цилиндрических оболочек: монография. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2010. – 166 с.
10. Ахтямов А. М., Сафина Г. Ф. Определение виброзащитного закрепления трубопровода // Прикладная механика и техническая физика. – 2008. Т. 49, № 1. С. 139–147.
11. Ланкастер П. Теория матриц: Пер. с англ. – М.: Наука, 1982. – 272 с.
12. Тихонов А. Н. Численные методы решения некорректных задач / А. Н. Тихонов, А. В. Гончарский, В. В. Степанов, А. Г. Ягола. – М.: Наука, 1990. – 232 с.
13. Лаврентьев М. М. Одномерные обратные задачи математической физики / М. М. Лаврентьев, К. Х. Резницкая, В. Г. Яхно. Новосибирск: Наука. – 1982. – 280 с.

Сафина Гульнара Фриловна

Нефтекамский филиал ФГБОУ ВО «Башкирский
государственный университет»,
Кандидат физико-математических наук, доцент,

декан экономико-математического факультета,
452680, Республика Башкортостан, г. Нефтекамск, ул. Тракторная, д.1.

Тел. 8(917) 40–399–79
E-mail: safinagf@mail.ru

G.F. SAFINA

UNIQUENESS AND CORRECTNESS OF DECISION TASKS OF PRESERVATION OF TRANSVERSE OSCILLATION FREQUENCIES OF PIPELINE WITH LIQUID ON HINGED SUPPORTS

Abstract: The article presents the results of solving the problem of maintaining safe frequencies of free transverse vibrations of a pipeline with a liquid with elastic hinged supports. The question of the existence of a solution to the problem has been investigated. The uniqueness of the solution has been proven, taking into account the correctness of the task set by A.N. Tikhonov. An algorithm for solving the problem of preserving the first three frequencies of vibrations of a pipeline with a liquid using appropriate changes in the stiffness coefficients of its elastic hinged supports was investigated and found. Analytical formulas for calculating stiffness coefficients of elastic supports were obtained, confirming the proven uniqueness of solving the problem of preserving vibration frequencies. Numerical calculation of preservation of safe oscillation frequencies in case of changes in fluid or pipeline parameters is given.

Keywords: bending vibrations, pipeline with fluid, uniqueness, correctness according to A.N. Tikhonov, parameters of fluid, preservation of frequencies, stiffness coefficients.

BIBLIOGRAPHY

1. Akhtyamov A.M. Theory of identification of boundary conditions and its applications. – M.: Fizmatlit, 2009. – 272 s.
2. V.A. Yurko Introduction to the theory of inverse spectral problems. – M.: Fizmatlit, 2007. – 384 s.
3. Vatulyan A. O. Inverse and incorrect problems: Study./A. O. Vatulyan, O. A. Belyak, D. Yu. Sukhov, O. V. Yavruyan. Rostov n/A: Publishing House of the Southern Federal. un-ta, 2011. – 232 s.
4. Gordon V.A., Poturaeva T.V., Semenova G.A. Own transverse vibrations of a beam partially resting on an elastic base // Fundamental and applied problems of technology and technology. – 2015. № 6 (314). – S. 3-10.
5. Strength, stability, vibrations. Reference in 3 volumes. T.1/Ed. A. Birger, Y.G. Panovko. – M.: Mechanical engineering, 1983. – 415 s.
6. Ahmadian H., Mottershead J. E., Friswell M. I. Boundary condition identification by solving characteristic equation // J. Sound Vibrat. – 2001. № 247. – S. 755-763.
7. Hung-Jen Liu, Nien-Sheng Hsu, Tim Hau Lee. Simultaneous identification of parameter, initial condition, and boundary condition in groundwater modelling // Hydrol. Process. – 2009. № 23. – S. 2358-2367.
8. Ilgamov M. A. Vibrations of elastic shells containing liquid and gas. – M.: Nauka, 1969. – 182 s.
9. Safina G.F. Modeling in the diagnosis of fixations of cylindrical shells: monograph. – Ufa: RIC BashSU, 2010. – 166 s.
10. Akhtyamov A.M., Safina G.F. Determination of vibration protection of the pipeline//Applied mechanics and technical physics. – 2008. T. 49, NO. 1. – S. 139–147.
11. Lancaster P. Matrix Theory: Per. since English - M.: Science, 1982. - 272 s.
12. Tikhonov A.N. Numerical methods for solving incorrect problems/A.N. Tikhonov, A.V. Goncharsky, V.V. Stepanov, A.G. Yagola. – M.: Science, 1990. - 232 s.
13. Lavrentiev M. M. One-dimensional inverse problems of mathematical physics / M. M. Lavrentiev, K. Kh. Reznitskaya, V. G. Yakhno. Novosibirsk: Science. – 1982. –280 s.

Safina Gulnara Frilovna

Ph.D., associate professor

«Bashkir state University» Neftekamsk branch,

Dean of the faculty «Economics and mathematics»,

452680, Bashkortostan, Neftekamsk, Traktovaya,1.

Ph.: 8(917) 40–399–79

E–mail: safinagf@mail.ru

© Сафина Г.Ф., 2022

А.А. ПОДДУБНЫЙ, В.А. ГОРДОН, Т.В. ПОТУРАЕВА, О.А. ДЕРЛИ

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ БАЛКИ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ ПРИ ВНЕЗАПНОМ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИИ

Аннотация. Построена математическая модель вынужденных изгибных колебаний балки Эйлера-Бернулли на упругом основании Винклера, инициированных внезапным образованием поперечной трещины. Физической моделью балки с трещиной принята конструкция из двух балочных сегментов, соединенных пружиной кручения. Балка нагружена равномерно распределённой нагрузкой единичной интенсивности и жёстко закреплена по концам. Динамические прогиб и изгибающий момент исследуются путем разложения внешней нагрузки и начальных статических прогиба и момента в ряды по формам собственных колебаний поврежденной балки. Приводятся численные оценки и сравнения напряженно-деформированных состояний балки при квазистатическом и внезапном образовании трещин разной глубины и локализации.

Ключевые слова: балка на упругом основании, квазистатическое и внезапное трещинообразование, формы и частоты собственных колебаний, вынужденные колебания, динамические напряжения, опасные сечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поддубный, А.А. Динамический отклик системы «балка – основание» на внезапное трещинообразование / А.А. Поддубный, В.А. Гордон, Т.В. Потураева, Д.С. Леонов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2022. №1(351). С. 40–49.

Поддубный Алексей Алексеевич
Белорусский государственный университет
транспорта, г. Гомель
Кандидат физико-математических наук, доцент,
начальник факультета
246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34
Тел. 8-10-375-232-319378.
E-mail: bsut@bsut.by

Гордон Владимир Александрович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Доктор технических наук, профессор кафедры
технической физики и математики
302020 г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 41-98-48
E-mail: gordon@ostu.ru

Потураева Татьяна Вячеславовна
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
кандидат технических наук, доцент кафедры
технической физики и математики
302020 г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 41-98-48
E-mail: tanpo77@mail.ru

Дерли Ольга Александровна
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Архитектурно-строительный институт,
студент группы 12С
302020 г. Орел, ул. Московская, 77
Тел. 89200881764
E-mail: oderli03@mail.ru

A.A. PODDUBNY, V.A. GORDON, T.V. POTURAEVA, O.A. DERLI

FORCED VIBRATIONS OF A BEAM ON AN ELASTIC FOUNDATION WITH SUDDEN CRACKING

Abstract. A mathematical model of forced bending vibrations of an Euler-Bernoulli beam on an elastic Winkler foundation, initiated by the sudden formation of a transverse crack, is constructed. The physical model of a beam with a crack is a construction of two beam segments connected by a torsion spring. The beam is loaded with a uniformly distributed load of unit intensity and is rigidly clamped at the ends. Dynamic deflection and bending moment are investigated by expanding the external load and the initial static deflection and moment into series according to the eigenmodes of the damaged beam. Numerical estimates and comparisons of the stress-strain states of the beam under quasi-static and sudden formation of cracks of different depths and localizations are given.

Keywords: beam on an elastic foundation, quasi-static and sudden cracking, forms and frequencies of natural vibrations, forced vibrations, dynamic stresses, dangerous sections.

BIBLIOGRAPHY

1. Poddubnii A.A. Dinamicheskii otklik sistemi «balka – osnovanie» na vnezapnoe treschinoobrazovanie / A.A. Poddubnii V.A. Gordon T.V. Poturaeva D.S. Leonov // Fundamentalnie i prikladnie problemi tehniki i tehnologii. 2022. №1 351, С. 40–49.

Poddubny Alexey Alekseevich

Belarusian State University of Transport, Gomel
Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor,
Head of the Faculty
34 Kirova str., Gomel, 246653
Tel. 8-10-375-232-319378.
E-mail: bsut@bsut.by

Gordon Vladimir Alexandrovich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
Doctor of Technical Sciences, Professor of the
Department of Technical Physics and Mathematics
302020 Orel, Naugorskoe highway, 29
Тел. (4862) 41-98-48
E-mail: gordon@ostu.ru

Poturaeva Tatyana Vyacheslavovna

Orel State University named after I.S. Turgenev
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of
the Department of Technical Physics and Mathematics
302020 Orel, Naugorskoe highway, 29
Tel. (4862) 41-98-48
E-mail: tanpo77@mail.ru

Derli Olga Aleksandrovna

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
Architectural and Construction Institute, student of group
12C
302020 Orel, Moskovskaya str., 77
Tel. 89200881764
E-mail: oderli03@mail.ru

© Поддубный А.А., Гордон В.А., Потураева Т.В., Дерли О.А., 2022

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ **И ОБОРУДОВАНИЕ**

УДК: 621.9

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-353-3-22-27

О.Г. КОЖУС, Г.В. БАРСУКОВ, В.С. ШОРКИН, Л.Ю. ФРОЛЕНКОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЗАЛИПАНИЯ АГЛОМЕРАТОВ АБРАЗИВНЫХ ЧАСТИЦ НА СТЕНКАХ КАМЕРЫ УСТАНОВКИ ПСЕВДООЖИЖЕНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СОЕДИНЕНИЯ АБРАЗИВ-ПОЛИМЕР

Аннотация. В статье представлены результаты исследования условий залипания агломератов абразивных частиц на стенках камеры установки псевдоожигения при формировании соединения абразив-полимер. Установлено, что в слое псевдоожигенного слоя, прилегающем к стенке рабочей камеры существуют условия прилипания к ней абразивных частиц и их агломератов. Предложено решение для снижения залипания агломератов путем уменьшения сопротивления стенки воздушному потоку, что можно добиться вдувом в него дополнительного воздуха за счет установки сетчатой камеры для нанесения покрытия абразив-полимер.

Ключевые слова: абразив, гидроабразивное резание, инкапсуляция, полимерное покрытие, покрытие, критические режимы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инновационные технологии резания сверхзвуковой струей жидкости: экономика, рынок, состояние и перспективы развития [Текст] / 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 [Текст] / 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 [Текст] / 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 [Текст] / 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 [Текст] / 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. Витковский И.В. Адгезионно-диффузионное формирование многослойной стенки жидкометаллического проточного тракта бланкета термоядерного реактора [Текст] / И.В. Витковский, Л.Ю. Фроленкова, В.С. Шоркин // Журнал технической физики. – 2012. – Т. 82. – В. 7. – С. 117 – 122.
10. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя [Текст] / Г. Шлихтинг. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы издательства, 1974. – 712 с.

Кожус Ольга Геннадьевна
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»
вед. инж.
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел.: + 7 (4862) 413295
E-mail: okozhus@mail.ru

Барсуков Геннадий Валерьевич
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»
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»

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

Тел. +7 (960) 655-00-77

E-mail: VSorkin@yandex.ru

Фроленкова Лариса Юрьевна

ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»

доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой
машиностроения

Тел. +7 (910) 301-73-20

E-mail: LaraFrolenkova@yandex.ru

O.G. KOZHUS, G.V. BARSUKOV, V.S. SHORKIN, L.Yu. FROLENKOVA

INVESTIGATION OF CONDITIONS FOR STICKING OF AGGLOMERATES OF ABRASIVE PARTICLES ON THE WALLS OF A FLUIDIZATION UNIT CHAMBER DURING THE FORMATION OF ABRASIVE-POLYMER COMPOUND

Abstract. *The article presents the results of a study of the conditions for sticking of agglomerates of abrasive particles on the walls of the chamber of the fluidization unit during the formation of the abrasive-polymer joint. It has been established that in the layer of the fluidized bed adjacent to the wall of the working chamber, there are conditions for adhesion of abrasive particles and their agglomerates to it. A solution has been proposed to reduce the sticking of agglomerates by reducing the resistance of the wall to air flow, which can be achieved by blowing additional air into it by installing a mesh chamber for applying an abrasive-polymer coating.*

Keywords: *abrasive, waterjet cutting, encapsulation, polymer coating, coating, critical conditions*

BIBLIOGRAPHY

1. Innovative technologies for cutting with a supersonic liquid jet: economics, market, state and development prospects [Text] / E.Yu. Stepanova, O.G. Kozhus, G.V. Barsukov // Bulletin of the Bryansk State Technical University. – 2017. – no. 1. – S. 243-253.
2. Study of the abrasive ability of artificial and natural abrasives that provide the performance of waterjet cutting [Text] / O.G. Kozhus, G.V. Barsukov, A.Yu. Vinokurov // Fundamental and applied problems of engineering and technology. – 2018. – Vol. 1. – No. 2. – S. 34-40.
3. Study of the mechanism of mixing the components of the abrasive mixture for waterjet cutting [Text] / G.V. Barsukov, O.G. Kozhus, S.A. Shmanev // Fundamental and applied problems of engineering and technology. – 2019. – no. 3. – S. 61-68.
4. Application of nanomodified abrasive for hydroabrasive cutting of fiberglass car body elements [Text] / O.G. Kozhus, G.V. Barsukov, T.A. Zhuravleva // World of Transport and Technological Machines. – 2016. – no. 2. – S. 45-52.
5. Barsukov G., Zhuravleva T., Kozhus O. Methods 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. Life cycle of abrasive grain in a polymer shell [Text] / G.V. Barsukov, V.S. Shorkin, L.Yu. Frolenkova, O.G. Kozhus, S.V. Kozhus // Fundamental and applied problems of engineering and technology. - 2019. - No. 6 (338). - P.72-79.
9. Vitkovsky I.V. Adhesion-diffusion formation of a multilayer wall of a liquid-metal flow path of a fusion reactor blanket [Text] / I.V. Vitkovsky, L.Yu. Frolenkova, V.S. Shorkin // Journal of technical physics. - 2012. - T. 82. - V. 7. - S. 117 - 122.
10. Schlichting G. Theory of the boundary layer [Text] / G. Schlichting. – M.: Science. The main edition of the physical and mathematical literature of the publishing house, 1974. - 712 p.

Kozhus Olga Gennadiyevna

Orel State University, Orel

Leading Engineer

302026, Orel, Komsomolskaya st, 95

Ph.: + 7 (4862) 413295

E-mail: okozhus@mail.ru

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

Frolenkova Larisa Yuryevna

Orel State University, Orel

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head.
Department of Mechanical Engineering
302026, Orel, Komsomolskaya st, 95

Ph.: +7 (910) 301-73-20

E-mail: LaraFrolenkova@yandex.ru

© Кожус О.Г., Барсуков Г.В., Шоркин В.С., Фроленкова Л.Ю., 2022

Г.В. БАРСУКОВ, Т.А. ЖУРАВЛЕВА, Е.М. СЕЛЕМЕНЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕДНОГО ШЛАКА НА ЕГО ПРОЧНОСТЬ ПРИ ГИДРОАБРАЗИВНОМ РЕЗАНИИ

Аннотация. Предложена методика финишной обработки зеркальной поверхности вида внеосевого параболоида, основанная на выборе закона снятия припуска при шлифовании свободным абразивом. Дальнейшее полирование предполагается производимым по сферической поверхности, которая после снятия нагрузки трансформируется в искомую поверхность внеосевого параболоида.

Ключевые слова: гидроабразивное резание, медный шлак, внеосевой параболоид, шлифование, полирование, направленный изгиб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барсуков Г.В., Степанова Е.Ю., Кожус О.Г. Инновационные технологии резания сверхзвуковой струей жидкости: экономика, рынок, состояние и перспективы развития // Вестник Брянского государственного технического университета. 2017. № 1 (54). С. 243-253.
2. Степанова Е.Ю., Барсуков Г.В., Степанов Ю.С. Прорывные технологии нового поколения формообразования пространственно-сложных поверхностей наукоемких изделий // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 8-2. С. 243-249.
3. Барсуков Г.В., Кожус О.Г., Винокуров А.Ю. Исследование абразивной способности искусственных и природных абразивов, обеспечивающих производительность гидроабразивного резания // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - № 2. - 2018 г. - С. 34-41.
4. Галиновский, А.Л. Минимизация технологической себестоимости гидроабразивного резания с учетом стоимостных и технологических параметров процесса обработки [Текст] / А.Л. Галиновский, В.А. Тарасов, В.М. Елфимов // Известия высших учебных заведений «Машиностроение». - 2011. - №4. - с. 46 - 54
5. Hoogstrate, A.M., Pi, V.N., Karpushchewski, B. Cost optimization for multiple-head AWJ cutting. In Proceedings of the 18th International Conference on Water Jetting, Gdansk, Poland, 13-15 September 2006. 2006. 251-264
6. Babu, M.K., Chetty, O.V.K. A study on recycling of abrasives in abrasive water jet machining. Wear 254, 2003, 763-773.
7. Mort, G.A., Results of abrasive water jet market survey. In Proceedings of the 8th American Water Jet Conference, vol. 1, 1995, 259-282.
8. <http://tpc-incom.ru/pages/kupershlak/>.
9. <http://daka1.ru/publikatsii/nikelshlak-ili-kupershlak-kakoj-abrazivnyj-material-vybrat.html>.
10. Rabah M. A. Influence of Particle Size and Calcination Temperature on the Abrasiveness of Garnet for Water Jet Cutting of Tough Materials //Solid State Phenomena. – Trans Tech Publications Ltd, 2018. – Т. 277. – С. 17-26.

Барсуков Геннадий Валерьевич
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»
доктор технических наук, профессор кафедры
машиностроения
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел.: + 7 (4862) 413295
E-mail: awj@list.ru

Журавлева Татьяна Александровна
Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана
Кандидат технических наук, докторант
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел.: + 7 (4862) 413295
E-mail: awj@list.ru

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

G.V. BARSUKOV, T.A. ZHURAVLEVA, E.M. SELEMENEVA

STUDY OF THE INFLUENCE OF MODES OF CHEMICAL AND THERMAL TREATMENT OF COPPER SLAG ON ITS STRENGTH AT WATERJET CUTTING

Abstract. A technique for finishing a mirror surface of the form of an off-axis paraboloid is proposed, based on the choice of the law for removing the allowance during grinding with a free abrasive. Further polishing is assumed to be carried out on a spherical surface, which, after removing the load, transforms into the desired surface of an off-axis paraboloid.

Keywords: waterjet cutting, copper slag, off-axis paraboloid, grinding, polishing, directional bending.

BIBLIOGRAPHY

1. Barsukov G.V., Stepanova E.Yu., Kozhus O.G. Innovative technologies for cutting with a supersonic liquid jet: economics, market, state and development prospects. Bulletin of the Bryansk State Technical University. 2017. No. 1 (54). pp. 243-253.
2. Stepanova E.Yu., Barsukov G.V., Stepanov Yu.S. Breakthrough technologies of a new generation of shaping of spatially complex surfaces of high-tech products. Izvestiya of the Tula State University. Technical science. 2016. No. 8-2. pp. 243-249.
3. Barsukov G.V., Kozhus O.G., Vinokurov A.Yu. Investigation of the abrasive ability of artificial and natural abrasives that ensure the performance of waterjet cutting // Fundamental and applied problems of engineering and technology. - No. 2. - 2018 - S. 34-41.
4. Galinovsky, A.L. Minimization of the technological cost of waterjet cutting, taking into account the cost and technological parameters of the processing process [Text] / A.L. Galinovsky, V.A. Tarasov, V.M. Elfimov // News of higher educational institutions «Engineering». - 2011. - No. 4. - with. 46 - 54
5. Hoogstrate, A.M., Pi, V.N., Karpushchewski, B. Cost optimization for multiple-head AWJ cutting. In Proceedings of the 18th International Conference on Water Jetting, Gdansk, Poland, 13-15 September 2006. 2006. 251-264.
6. Babu, M.K., Chetty, O.V.K. A study on recycling of abrasives in abrasive water jet machining. Wear 254, 2003, 763-773.
7. Mort, G.A., Results of abrasive water jet market survey. In Proceedings of the 8th American Water Jet Conference, vol. 1, 1995, 259-282.
8. <http://tpc-incom.ru/pages/kupershlak/>
9. <http://daka1.ru/publikatsii/nikelshlak-ili-kupershlak-kakoj-abrazivnyj-material-vybrat.html>
10. Rabah M. A. Influence of Particle Size and Calcination Temperature on the Abrasiveness of Garnet for Water Jet Cutting of Tough Materials // Solid State Phenomena. - Trans Tech Publications Ltd, 2018. - T. 277. - P. 17-26.

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

Zhuravleva Tatyana Alexandrovna

Kaluga branch of MSTU named after N.E. Bauman
Candidate of Technical Sciences, Doctoral Candidate
302026, Orel, st. Komsomolskaya, 95
Tel.: + 7 (4862) 413295
E-mail: awj@list.ru

Selemeneva Elena Mikhailovna

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

© Барсуков Г.В., Журавлева Т.А., Селемеева Е.М., 2022

В.И. ВОРОБЬЕВ, С.Н. ЗЛОБИН, О.В. ИЗМЕРОВ, Е.В. НИКОЛАЕВ

МЕТОДЫ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ПРИВОДА ЛОКОМОТИВА

Аннотация. Рассмотрена задача создания методов анализа динамической системы тягового привода локомотива, пригодных для разработки экспертных систем. Предложены классификация динамических воздействий на тяговый привод локомотива, примерный алгоритм анализа результатов испытаний и возможная структура автоматизированного комплекса. Запатентована конструкция стенда для физического моделирования.

Ключевые слова: проблемы создания новой техники, динамика тягового привода локомотива, анализ результатов испытаний, автоматизация научных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павленко, А.П. Динамика тяговых приводов магистральных локомотивов: моногр. / А.П. Павленко. – М.: Машиностроение, 1991. – 192 с.
2. Бирюков, И.В. Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог: моногр. / И.В. Бирюков, А.И. Беляев, Е.К. Рыбников. – М.: Транспорт, 1986. – 256 с.
3. Повышение надежности экипажной части тепловозов: моногр. / А.И. Беляев, Б.Б. Бунин, С.М. Голубятников [и др.]; под ред. Л.К. Добрынина. – М.: Транспорт, 1984. – 248 с.
4. Кочергин, В.В. Экспериментальное исследование тяговых приводов локомотивов / В.В. Кочергин // Вестн. ВНИИЖТ. – 1977. – №8. – С. 7-10.
5. Физический эксперимент и моделирование в машиностроении: монография / [В.П. Тихомиров и др.]; под редакцией д-ра техн. наук, проф. В.П. Тихомирова. – Орел: ОрелГТУ, 2010. – 452 с.
6. Инженерный эксперимент как подсистема инновационного проектирования: монография / [О.В. Измеров и др.]; под редакцией член-корр. академии электротехнических наук Российской Федерации, д-ра техн. наук, проф. А.С. Космодамианского. – Орел: ОрелГТУ, 2011. – 401 с.
7. Техническая инновационика. Проектирование конкурентоспособных машин: монография / [О.В. Измеров и др.]; под редакцией член-корр. академии электротехнических наук Российской Федерации, д-ра техн. наук, проф. А.С. Космодамианского. – Орел: Госуниверситет – УНПК, 2013. – 415 с.
8. Автоматизированные системы научных исследований: Учеб. пособие / Н. И. Фомичев; Яросл. гос. ун-т. - Ярославль, 2001. - 112 с.
9. Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева [Электронный ресурс] / Курс АСНИ по дисциплине "Автоматизация научных исследований" – Режим доступа: <http://www.ssau.ru/struct/deps/tdla/asni/>, свободный. — Загл. с экрана.— Яз. рус.
10. Техника научного эксперимента / В. Я. Гальчук, А. П. Соловьев 255 с. ил. 22 см. Л. Судостроение 1982 – 256 с.
11. Техническая инновационика. Проблемы инженерного анализа технических систем: монография / [О.В. Измеров и др.]; под ред. чл.-кор. Академии электротехн. наук Рос. Федерации, д-ра техн. наук, проф. А.С. Космодамианского. – Орел: Госуниверситет - УНПК, 2013. – 261 с.

Воробьев Владимир Иванович

Брянский государственный технический университет, г. Брянск
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Подвижной состав железных дорог»
E-mail: vladimvorobiev@yandex.ru

Дорофеев Олег Васильевич

Университет «Синергия», г. Москва
Кандидат технических наук, доцент,
директор департамента цифровой экономики
E-mail: da_shy@inbox.ru

Измеров Олег Васильевич

Брянский государственный технический университет, г. Брянск
Соискатель по кафедре «Подвижной состав железных дорог»
E-mail: izmerov@yandex.ru

Николаев Евгений Владимирович

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва
Старший преподаватель кафедры «Тяговый подвижной состав железных дорог»

V.I. VOROBYEV, O.V. IZMEROV, S.N. ZLOBIN, E.V. NIKOLAEV

COMPLEX METHOD OF DYNAMIC SYSTEM ANALYSIS FOR LOCOMOTIVE TRACTION DRIVE

Abstract. *The problem to create the methods of dynamic system analysis for locomotive traction drive, suitable for development of expert systems is considered. Classification of dynamic impacts in locomotive traction drive, an approximate analysis algorithm of results of tests and possible structure of expert system are offered. The stand for physical modeling is patented.*

Keywords: *problems of creation of new equipment, locomotive traction drive dynamics, analysis of the test results, automation of scientific researches.*

BIBLIOGRAPHY

1. Pavlenko, A.P. Dinamika tjasgovyh privodov magistral'nyh lokomotivov: monogr. / A.P. Pavlenko. – M.: Mashinostroenie, 1991. – 192 s.
2. Birjukov, I.V. Tjasgovye peredachi jelectropodvizhnogo sostava zheleznyh dorog: monogr. / I.V. Birjukov, A.I. Beljaev, E.K. Rybnikov. – M.: Transport, 1986. – 256 s.
3. Povyshenie nadezhnosti jekipazhnoj chasti teplovozov: monogr. / A.I. Beljaev, B.B. Bunin, S.M. Golubjatnikov [i dr.]; pod red. L.K. Dobrynina. – M.: Transport, 1984. – 248 s.
4. Kochergin, V.V. Jeksperimental'noe issledovanie tjasgovyh privodov lokomotivov / V.V. Kochergin // Vestn. VNIIZhT. – 1977. – №8. – S. 7-10.
5. Fizicheskij jeksperiment i modelirovanie v mashinostroenii: monografija / [V.P. Tihomirov i dr.]; pod redakciej d-ra tehn. nauk, prof. V.P. Tihomirova. – Orel: OrelGTU, 2010. – 452 s.
6. Inzhenernyj jeksperiment kak podсистема innovacionnogo proektirovanija: monografija / [O.V. Izmerov i dr.]; pod redakciej chlen-korr. akademii jelectrotehnicheskikh nauk Rossijskoj Federacii, d-ra tehn. nauk, prof. A.S. Kosmodamianskogo. – Orel: OrelGTU, 2011. – 401 s.
7. Tehnicheskaja innovacionika. Proektirovanie konkurentosposobnyh mashin: monografija / [O.V. Izmerov i dr.]; pod redakciej chlen-korr. akademii jelectrotehnicheskikh nauk Rossijskoj Federacii, d-ra tehn. nauk, prof. A.S. Kosmodamianskogo. – Orel: Gosuniversitet – UNPK, 2013– 415 s.
8. Avtomatizirovannye sistemy nauchnyh issledovanij: Ucheb. posobie / N. I. Fomichev; Jarosl. gos. un-t. - Jaroslavl', 2001. - 112 s.
9. Samarskij gosudarstvennyj ajerokosmicheskij universitet imeni akademika S.P. Koroleva [Jelectronnyj resurs] / Kurs ASNI po discipline "Avtomatizacija nauchnyh issledovanij" – Rezhim dostupa: <http://www.ssau.ru/struct/deps/tkla/asni/>, svobodnyj. — Zagl. s jekrana.— Jaz. rus.
10. Tehnika nauchnogo jeksperimenta / V. Ja. Gal'chuk, A. P. Solov'ev 255 s. il. 22 sm. L. Sudostroenie 1982 – 256 s.
11. Tehnicheskaja innovacionika. Problemy inzhenernogo analiza tehniceskikh sistem: monografija / [O.V. Izmerov i dr.]; pod red. chl.-kor. Akademii jelectrotehn. nauk Ros. Federacii, d-ra tehn. nauk, prof. A.S. Kosmodamianskogo. – Orel: Gosuniversitet - UNPK, 2013. – 261 s.

Vorobyev Vladimir Ivanovich

Bryansk State Technical University, Bryansk
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
at the Department of «Railroad rolling stock»
E-mail: vladimvorobiev@yandex.ru

Zlobin Sergey Nikolaevich

Orel State university, Orel
Candidate of technical sciences, Associate Professor at
the Department of “Mechanical engineering”
E-mail: zsn2@rambler.ru

Izmerov Oleg Vasilevich

Bryansk State Technical University, Bryansk
Competitor of the Department «Railroad rolling stock»
E-mail: izmerov@yandex.ru

Nikolaev Evgeny Vladimirovich

Russian University of Transport (MIIT), Moscow
Senior lecturer of the Department «Traction rolling stock
of railways»

© Воробьев В.И., Злобин С.Н., Измеров О.В., Николаев Е.В., 2022

П.Г. МОРЕВ, К.И. КАПЫРИН, В.А. ГОЛЕНКОВ, С.Ю. РАДЧЕНКО,
Д.О. ДОРОХОВ, И.О. ПРОКОПОВ

ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ УПРОЧНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Аннотация. В статье приводится описание универсального метода построения ИПД-кривых упрочнения, пригодных для численного моделирования ИПД-обработки. Использование таких кривых позволит избежать ошибок расчёта, связанных с некорректным заданием закона упрочнения. Предлагаемый метод основан на проведении двух испытаний (тестов): осаживания в условиях однородной деформации и любого теста на ИПД. Он позволяет учесть вклад мезополос и полос сдвига, образующихся в некоторых материалах при пластической деформации и приводящих к разупрочнению материала. В условиях ИПД такие структуры не образуются, что и оправдывает применение данного метода. В случае отсутствия мезополос при испытании на осадку тест не нуждается в корректировке. Построение начального участка ИПД-кривой упрочнения проводится по результатам измерения микротвёрдости.

Ключевые слова: интенсивная пластическая деформация, деформационное упрочнение, кривая упрочнения, мезополосы и полосы сдвига.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сегал, В.М., Резников В.И., Копылов В.И. Процессы пластического структурообразования металлов [Текст]. В.М. Сегал [и др.] -Минск: Наука и техника, 1994. - 231 с.
2. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией [Текст]. М.: Логос, 2000., 272 с.
3. Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства [Текст]. М.:Академкнига, 2007., 397 с.
4. Estrin Y., Vinogradov A., Extreme grain refinement by SPD: A wealth of challenging science, Acta Materialia. 61 (2013) 782–817
5. Ni S., Wang Y.B., Liao X.Z., Figueiredo R.B., Zhu Y.T., Strain softening in nanocrystalline Ni–Fe alloy induced by large HPT revolutions, Materials Science and Engineering A. 528 (2011) 4807–4811.
6. Semenova I.P., Valiev R.Z., Langdon T.G., High-pressure torsion and equal-channel angular pressing, in: H. Garbacz, S. Zhrebtsov, I. Semenova, M. Motyka (Eds.), Nanocrystalline Titanium. Book, 2019, Elsevier Inc., pp. 3–19.
7. Horita Z., Furukawa M., M. Nemoto, Barnes A J. Superplastic forming at high strain rates after severe plastic deformation, Acta Materialia. 48 (2000) 3633–3640.
8. Wang Y.B., Liao X.Z., Zhao Y.H., Lavernia E.J., Ringer S.P., Horita Z., Langdon T.G., Zhug Y.T. The role of stacking faults and twin boundaries in grain refinement of a Cu–Zn alloy processed by high-pressure torsion // Materials Science & Engineering: A 527, (2010) 4959–4966.
9. Liu Z.Y., Yang Y., Liu C.T. Yielding and shear banding of metallic glasses, Acta Materialia. 61 (2013) 5928–5936.
10. Pan J., Chen Q., Liu L., Li Y. Softening and dilatation in a single shear band, Acta Materialia. 59 (2011) 5146–5158.
11. Morrev P.G., Kapyrin K.I., Kurdyumova L.N., Kulikov I. Yu., Tatarchenkov N.V., Gordon V.A. On construction of SPD stress-strain curve for bronze Cu85–Pb5–Sn5–Zn5 // Materials Science & Engineering: A764 (2019) 137889.
12. Morrev P.G., Kapyrin K.I., Gordon V.A., Gryadunov I.M., Radchenko S.Yu., Dorokhov D.O. Towards the Problem of Construction an SPD Stress-Strain Curve for Low-Plastic Materials // Key Engineering Materials, (2020) Vol. 839, pp 189-195.
13. Yasuhiro Yogo, Masatoshi Sawamura, Masafumi Hosoya, Michiaki Kamiyama, Noritoshi Iwata, Takashi Ishikawa Measurement method for stress–strain curve in a super-large strain range// Materials Science & Engineering: A 600 (2014) 82–89.
14. Yasuhiro Yogo, Masatoshi Sawamura, Risa Harada, Kosei Miyata, Noritoshi Iwata, Takashi Ishikawa Stress-strain curve of pure aluminum in a super large strain range with strain rate and temperature dependency// Procedia Engineering 207 (2017) 161–166.
15. Giannakopoulos A.E., Larrson P.L., Vestergaard R. Analysis of Vickers indentation // International Journal of Solids and structures 31 (1994) 2679–2708.
16. Морев П.Г., Капырин К.И., Татарченков Н.В., Грядунов И.М. К вопросу об упрочнении материалов с линейной диаграммой сжатия [Текст] // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии № 3 323 (2017) 102–106.
17. Morrev P.G., Gordon V.A. An axisymmetric nodal averaged finite element // Latin American Journal of Solids and Structures 15(2) (2018).

18. Morrev P.G., Gordon V.A. Simulation of surface hardening in the deep rolling process by means of an axial symmetric nodal averaged finite element // Journal of Physics: Conference Series 973 (2018) 012013

19. Puso M.A., Solberg J. A stabilized nodally integrated tetrahedral // International Journal for Numerical Methods in Engineering 67 (2006) 841–867.

20. Морев П.Г., Гордон В.А. Конечный элемент для осесимметричных задач с усреднением в узлах и стабилизацией [Текст] // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2017. № 6 (326). С. 29-35.

Морев Павел Геннадьевич

ФГБОУ ВПО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл
Кандидат физико-математических наук, ведущий инженер
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: paulorel@mail.ru

Капырин Константин Игоревич

ФГБОУ ВПО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл,
Кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем управления и кибернетики
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: kostik72@inbox.ru

Голенков Вячеслав Александрович

ФГБОУ ВПО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл,
Доктор технических наук, профессор, руководитель научной школы
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: president@ostu.ru

Радченко Сергей Юрьевич

ФГБОУ ВПО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл
Доктор технических наук, профессор, проректор
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: sur@ostu.ru

Дорохов Даниил Олегович

ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орёл
Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры машиностроения
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: ddostu@mail.ru

Прокопов Илья Олегович

ФГБОУ ВПО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл,
Аспирант
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: raidon1996@mail.ru

P.G. MOREV, K.I. KAPYRIN, V.A. GOLENKOV, S.Y. RADCHENKO,
D.O. DOROHOV, I.O. PROKOPOV

CONSTRUCTION OF A STRESS-STRAIN CURVE UNDER SEVERE PLASTIC DEFORMATION

Abstract. A universal method of construction an SPD stress-strain curve is proposed. Such a curve allows avoiding errors in numerical analysis of SPD processes. The method is based on two tests: upsetting with uniform strain and any test on severe plastic deformation. The effect of meso-bands and shear bands resulting in softening of a material is evaluated. During an SPD process, such structures are not formed therefore compensation of this effect is necessary. If meso-bands are absent then the upsetting test needs no correction. The initial segment of stress-strain curve is constructed based on microhardness measurements.

Keywords: severe plastic deformation, work hardening, stress-strain curve, meso-band, shear band.

BIBLIOGRAPHY

1. Segal, V.M., Reznikov V.I., Kopylov V.I. Processy plasticheskogo strukturoobrazovaniya metallov Text. B.M. Сегал и др. -Minsk: Nauka i tehnika, 1994. - 231 s.
2. Valiev R.Z., Aleksandrov I.V. Nanostrukturnye materialy, poluchennye intensivnoi plasticheskoi deformaciei . M.: Logos, 2000., 272 s.
3. Valiev R.Z., Aleksandrov I.V. Obemnye nanostrukturnye metallicheskie materialy: poluchenie, struktura i svoistva . M.:Академкнига, 2007., 397 s.
4. Estrin Y., Vinogradov A., Extreme grain refinement by SPD: A wealth of challenging science, Acta Materialia. 61 (2013) 782–817
5. Ni S., Wang Y.B., Liao X.Z., Figueiredo R.B., Zhu Y.T., Strain softening in nanocrystalline Ni–Fe alloy induced by large HPT revolutions, Materials Science and Engineering A. 528 (2011) 4807–4811.
6. Semenova I.P., Valiev R.Z., Langdon T.G., High-pressure torsion and equal-channel angular pressing, in: H. Garbacz, S. Zhrebtsov, I. Semenova, M. Motyka (Eds.), Nanocrystalline Titanium. Book, 2019, Elsevier Inc., pp. 3–19.
7. Horita Z., Furukawa M., M. Nemoto, Barnes A J. Superplastic forming at high strain rates after severe plastic deformation, Acta Materialia. 48 (2000) 3633–3640.

8. Wang Y.B., Liao X.Z., Zhao Y.H., Lavernia E.J., Ringer S.P., Horita Z., Langdon T.G., Zhug Y.T. The role of stacking faults and twin boundaries in grain refinement of a Cu–Zn alloy processed by high-pressure torsion // *Materials Science & Engineering: A* 527, (2010) 4959–4966.
9. Liu Z.Y., Yang Y., Liu C.T. Yielding and shear banding of metallic glasses, *Acta Materialia*. 61 (2013) 5928–5936.
10. Pan J., Chen Q., Liu L., Li Y. Softening and dilatation in a single shear band, *Acta Materialia*. 59 (2011) 5146–5158.
11. Morrev P.G., Kapyrin K.I., Kurdyumova L.N., Kulikov I. Yu., Tatarchenkov N.V., Gordon V.A. On construction of SPD stress-strain curve for bronze Cu85–Pb5–Sn5–Zn5 // *Materials Science & Engineering: A* 764 (2019) 137889.
12. Morrev P.G., Kapyrin K.I., Gordon V.A., Gryadunov I.M., Radchenko S.Yu., Dorokhov D.O. Towards the Problem of Construction an SPD Stress-Strain Curve for Low-Plastic Materials // *Key Engineering Materials*, (2020) Vol. 839, pp 189–195.
13. Yasuhiro Yogo, Masatoshi Sawamura, Masafumi Hosoya, Michiaki Kamiyama, Noritoshi Iwata, Takashi Ishikawa Measurement method for stress–strain curve in a super-large strain range// *Materials Science & Engineering: A* 600 (2014) 82–89.
14. Yasuhiro Yogo, Masatoshi Sawamura, Risa Harada, Kosei Miyata, Noritoshi Iwata, Takashi Ishikawa Stress-strain curve of pure aluminum in a super large strain range with strain rate and temperature dependency// *Procedia Engineering* 207 (2017) 161–166.
15. Giannakopoulos A.E., Larrson P.L., Vestergaard R. Analysis of Vickers indentation // *International Journal of Solids and Structures* 31 (1994) 2679–2708.
16. Morev P.G., Kapyrin K.I., Tatarchencov N.V., Gryadunov I.M. K voprosu ob uprochnenii materialov s lineinoi diagrammoi sgatiya // *Fundamentalnye i prikladnye problem tehniki i tehnologii*. № 3 323 (2017) S. 102–106.
17. Morrev P.G., Gordon V.A. An axisymmetric nodal averaged finite element // *Latin American Journal of Solids and Structures* 15(2) (2018).
18. Morrev P.G., Gordon V.A. Simulation of surface hardening in the deep rolling process by means of an axial symmetric nodal averaged finite element // *Journal of Physics: Conference Series* 973 (2018) 012013
19. Puso M.A., Solberg J. A stabilized nodally integrated tetrahedral // *International Journal for Numerical Methods in Engineering* 67 (2006) 841–867.
20. Morev P.G., Gordon V.A. Konechnyi element zadach s usredneniem v uzlah i stabilizaciei // *Fundamentalnye i prikladnye problem tehniki i tehnologii*. № 6 (326). 2017. S. 29–35.

Morev Pavel Gennadievich

«Orel State University», Orel
Ph.D. engineer-researcher Scientific research department
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: paulorel@mail.ru

Kapyrin Konstantin Igorerovich

«Orel State University», Orel
Ph.D., Docent department of automatic systems and control
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: kostik72@inbox.ru

Golenkov Vyacheslav Aleksandrovich

«Orel State University», Orel
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Scientific School
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: president@ostu.ru

Radchenko Sergey Yurievich

«Orel State University», Orel
Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: sur@ostu.ru

Dorohov Danila Olegovich

«Orel State University», Orel
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Professor of the Department of Mechanical Engineering
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: ddostu@mail.ru

Prokopov Ilya Olegovich

«Orel State University», Orel
Graduate Student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: raidon1996@mail.ru

© Морев П.Г., Капырин К.И., Голенков В.А., Радченко С.Ю., Дорохов Д.О., Прокопов И.О., 2022

Е.Ю. КРУПЕНЯ, Л.Н. КУРДЮМОВА, А.В. ШАМРИН, Е.П. КРЫГИНА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРОПРОТИРКИ ДЕТАЛЕЙ СРЕДАМИ ОРГАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Аннотация. В статье показана актуальность и научная значимость применения процесса вибрационной протирки на финишных этапах обработки деталей. Представлены результаты экспериментальных исследований протирки обработанных деталей после виброабразивной отделочной обработки с применением СОЖ. Предложены оптимизационные соотношения интенсивности вибропротирки деталей средами органического происхождения.

Ключевые слова: вибрационная протирка, органические гранулы, удаление жидкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабичев А.П., Бабичев И.А. «Основы вибрационной технологии» Ростов-на-Дону, издательский центр ДГТУ, 1998 г – 624 с.
2. Блехман И.И. «Поведение сыпучих тел под действием вибрации» - «Вибрации в технике» Справочник – М.наука 1988 – Т. 4-С 78-98
3. Копылов Ю.Р. «Виброударное упрочнение» Монография - Воронеж. Воронежский институт МВД России, 1999г. – 386 с
4. Гончаревич И.Ф. «Теория вибрационной техники и технологии» - М.Наука, 1981 – 319с
5. Шевцов С.Н. «Компьютерное моделирование динамики гранулированных сред в вибрационных технологических машинах» Ростов-на-Дону, Изд.СКНЦ ВШ, 2001 г. – 194 с.
6. Карташов И.Н. «Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах – Киев «Вища шк., 1975г. – 188стр.

Крупеня Евгений Юрьевич
Технологический институт (филиал)
ДГТУ в г. Азове
г. Азов Ростовской области
ул. Промышленная, 1.
Тел. +79094402121

Курдюмова Лариса Николаевна
Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева,
кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения
г. Орёл ул. Московская д. 34
Тел: +79038806976
larissa_kur@mail.ru

Шамрин Алексей Вячеславович
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева магистр
г. Орёл ул. Московская д. 34
Тел: +79534735325
alexei.shamrin@yandex.ru

Крыгина Елизавета Павловна
Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева,
студент
г. Орёл ул. Московская д. 34
Тел.: +79102056350

E.Y. KRUPENYA, L.N. KURDYUMOVA, A.V. SHAMRIN, E.P. KRYGINA

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF VIBRATING PARTS WITH MEDIA OF ORGANIC ORIGIN

Abstract. The article shows the relevance and scientific significance of the application of the vibration wiping process at the finishing stages of parts processing. The results of experimental studies of wiping machined parts after vibroabrasive finishing with coolant are presented. Optimization ratios for the intensity of vibration wiping of parts with organic media are proposed.

Keywords: vibratory wiping, organic granules, liquid removal.

BIBLIOGRAPHY

1. Babichev A.P., Babichev I.A. "Fundamentals of vibration technology" Rostov-on-Don, publishing center of DSTU, 1998 - 624 p.
2. Blekhman I.I. "The behavior of loose bodies under the influence of vibration" - "Vibrations in technology" Handbook - M.nauka 1988 - Vol. 4- From 78-98
3. Kopylov Yu.R. "Vibration shock hardening" Monograph - Voronezh. Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 1999 - 386 s
4. Goncharevich I.F. "Theory of vibration engineering and technology" - M.Nauka, 1981 - 319c
5. Shevtsov S.N. "Computer modeling of the dynamics of granular media in vibrating technological machines" Rostov-on-Don, Ed.SCSH HSE, 2001 – 194 p.

6. Kartashov I.N. "Processing of parts with free abrasives in vibrating tanks - Kiev "Vyshcha shk., 1975g. - 188str.

Krupenya Evgeny Yurievich

Institute of Technology(branch) DSTU in Azov,
Azov, Rostov region,
Promyshlennaya str., 1.
Tel. +79094402121

Kurdyumova Larisa Nikolaevna

Orel State University named after I.S. Turgenev,
candidate of technical sciences, Associate Professor of the
Department of Mechanical Engineering
Oryol st. Moskovskaya d. 34
Тел: +79038806976
larissa_kur@mail.ru

Shamrin Alexey

Oryol State University named after I.S. Turgenev,
Master
Oryol st. Moscow, 34
Tel: +79534735325
alexei.shamrin@yandex.ru

Krygina Elizaveta Pavlovna

Oryol State University named after I.S. Turgeneva,
Oryol st. Moscow, 34
Tel.: +791092056350

© Крупеня Е.Ю., Курдюмова Л.Н., Шамрин А.В., Крыгина Е.П., 2022

МАШИНОВЕДЕНИЕ И МЕХАТРОНИКА

УДК 621.822.1, 004.85, 681.51

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-353-3-59-66

А.В. ГОРИН, Р.К. ЗАРЕЦКИЙ, А.К. ПОЗДНЯКОВ

АНАЛИЗ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АНОМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

Аннотация. В статье описаны проблемы, связанные с использованием известных систем, основанных на нейронных сетях. Для решения этих проблем предлагается использование альтернативной системы, основанной на адаптивной резонансной теории. Представлены способы применения АРТ на примере классификации изображений, а также диагностики аномальных состояний роторной системы. Описаны основные теории, выделенные в математической психологии, применение которых может решить известную проблему “нейрона бабушки”, при которой для диагностирования каждого конкретного состояния в памяти ЭВМ выделяется свой раздел памяти.

Ключевые слова: адаптивная резонансная теория, аномальные состояния, свойство ассоциативности, машинное обучение, нейронная сеть, нейрон бабушки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новые архитектуры и алгоритмы обучения дискретных нейронных сетей адаптивной резонансной теории. Date Views 27.02.2022 cyberleninka.ru/article/n/novye-arhitektury-i-algoritmy-obucheniya-diskretnyh-neuronnyh-setey-adaptivnoy-rezonansnoy-teorii-1.
2. Комашинский В.И. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи [Текст] - В.И. Комашинский, Д.А. Смирнов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 94 с. 96 НАУЧНЫЕ ВЕДОМОСТИ № 15(70) 2009
3. Neural networks for control / Edited by W. Thomas Miller III, Richard S. Sutton, and Paul J. Werbos, - Cambridge, Massachusetts, London: MIT Press, 1996. - 524 P.
4. Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений [Текст] - А.Б. Барский. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с.
5. Галушкин А.И. Нейрокомпьютеры и их применение на рубеже тысячелетий в Китае. В 2-х томах. Том 2 [Текст] - А.И. Галушкин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 464 с.
6. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс [Текст] - С. Хайкин С. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
7. Комарцова Л.Г. Нейрокомпьютеры: Учеб. пособие для вузов [Текст] - Л.Г. Комарцова Л.Г., А.В. Максимов. – М.: Изд-во им. Н.Э. Баумана, 2002. - 320 с.
8. Grossberg S. Competitive learning: From interactive activation to adaptive resonance // Cognitive Science – 1987. – Vol. 11. – P. 23 – 63.
9. Carpenter G.A., Grossberg S. A massively parallel architecture for selforganizing neural pattern recognition machine // Computing, Vision, Graphics and Image Processing. – 1987. – Vol. 37. – P. 54 – 115.
10. Дмитриенко В.Д., Корсунов Н.И. Основы теории нейронных сетей [Текст] - В.Д. Дмитриенко, Н.И. Корсунов. – Белгород: БИИММАП, 2001. – 159 с.
11. Barszcz T, Bielecki A, Wójcik M (2012) ART-type artificial neural networks applications for classification of operational states in wind turbines. Lecture Notes in Artificial Intelligence 6114, pp 11–18
12. Гербарт И. Ф. Психология / Предисловие В. Куренного. - М.: Издательский дом «Территория будущего», 2007. (Серия «Университетская библиотека Александра Погорельского»). - 288 с.
13. Mill, J. (1948). Analysis of the phenomena of the human mind, 1829. In W. Dennis (Ed.). - 402 p.
14. История теоретической социологии: эволюционная социология Г.Спенсера - первый опыт системного подхода: в 4-х т. / под редакцией Ю.Н. Давыдова А.Б.Гофман, А.Д. Ковалев, А.И. Кравченко, В.В. Сапов. Москва: "Канон+" ОИ "Реабилитация", 2002г. 496с, т.1, разд. II, гл.2, с. 241-290.
15. Mind and body The theories of their relation. New York, D. Appleton and Company, 1873. - 242 p.
16. Кандинский В. Х. О псевдогаллюцинациях (критико-клинический этюд). СПб.: Издание Е. К. Кандинской, 1890.
17. Льюис Д. Г. Вопросы о жизни и духе: В 2 т.: Пер. с англ.- СПб.: Изд. ред. журн. "Знание", 1875-1876.- Т.1-2.
18. Бенек / И. А. Михайлов // Новая философская энциклопедия: в 4 т. / пред. науч.-ред. совета В. С. Стёпин. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Мысль, 2010. - 2816 с.
19. Вундт В. Введение в философию / Пер. с нем. под ред. Э. Л. Радлова.- СПб.: Тип. АО "Брокгауз-Ефрон", 1903.- VIII, III, 310 с.- (Б-ка самообразования / Брокгауз-Ефрон).- Указ.: с. 302-310.- Прил. к журн. "Вестн. и Б-ка Самообразования" на 1903 г.- На обл. книгопродав. объявления.

20. Гельмгольц Герман Людвиг Фердинанд // Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / под ред. А. М. Прохорова - 3-е изд. - М.: Советская энциклопедия, 1969.
21. Фехнер Г. Т. О формуле измерения ощущений. - В сб.: "Проблемы и методы психофизики". М., 197
22. Мейнерт Т. Механика душевной деятельности. Речь, произнесенная в собрании естествоиспытателей в Висбадене и в Венском Антропологическом обществе. Перевод Виктора Кандинского, М.: Тип. М. П. Лаврова и К°, 1880. 31 с.
23. Вундт В. Основания физиологической психологии. Перевел и дополнил по новейшим исследованиям Виктор Кандинский. Вып. 1–2. М.: Тип. М. П. Лаврова и К°, 1880–1881. Вып. 1А, 512 с.; Вып. 2. Переведенный с нового немецкого издания (1880 года), с. 513–1038. - Рец.: «Медицинское обозрение», 1880, т. 14, сентябрь, с. 368–368. Подпись: С.; «Мысль», 1881, № 10–11, с. 227–227; Попов Л. К. - «Русская речь», 1881, июль, с. 308–324; «Русский курьер» (Москва), 1881, № 44, 14 февраля, с. 4–4.
24. Ландуа Л. Руководство к физиологии человека, со включением гистологии и микроскопической анатомии, обработанное с точки зрения практической медицины. Перевел с только что вышедшего (2-го) немецкого издания (по соглашению с автором) д-р В. Х. Кандинский. М.: Тип. М. П. Лаврова и К°, 1881. 224 с.
25. Alexey Kornaev, Leonid Savin, Nickolay Kornaev, Roman Zaretsky, Elena Kornaeva, Alexander Babin, Ivan Stebakov Machine learning for rotating machines: simulation, diagnosis and control // Vibroengineering PROCEDIA, Vol. 32, 2020. – С. 223-228.
26. How to Classify Photos of Dogs and Cats (with 97% accuracy). Date Views 27.02.2022 machinelearningmastery.com/how-to-develop-a-convolutional-neural-network-to-classify-photos-of-dogs-and-cats/.

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

Зарецкий Роман Константинович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
аспирант
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: kogots@bk.ru

Поздняков Андрей Константинович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
студент
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: pozdnyakov1999@ya.ru

A.V. GORIN, R.K. ZARETSKIY, A.K. POZDNYAKOV

ANALYSIS OF CONTROL METHODS AND CLASSIFICATIONS FOR DIAGNOSING ANOMAL STATES

Abstract. *The article describes the problems associated with the use of known systems based on neural networks. To solve these problems, it is proposed to use an alternative system based on the adaptive resonance theory. The methods of application of ART are presented on the example of image classification, as well as the diagnosis of abnormal states of the rotor system. The main theories identified in mathematical psychology are described, the application of which can solve the well-known problem of the "grandmother cell", in which a separate section of memory is allocated in the computer memory for diagnosing each specific state.*

Keywords: *adaptive resonance theory, anomalous states, associativity property, machine learning, neural network, grandmother cell.*

BIBLIOGRAPHY

1. New architectures and algorithms for training discrete neural networks of adaptive resonance theory. Date Views 02/27/2022 cyberleninka.ru/article/n/novye-arhitektury-i-algoritmy-obucheniya-disketnyh-neyronnyh-setey-adaptivnoy-rezonansnoy-teorii-1
2. Komashinsky V.I. Neural networks and their application in control and communication systems [Text] - V.I. Komashinsky, D.A. Smirnov. – М.: Hotline – Telecom, 2002. – 94 p. 96 SCIENTIFIC BULLETIN No. 15(70) 2009
3. Neural networks for control / Edited by W. Thomas Miller III, Richard S. Sutton, and Paul J. Werbos, - Cambridge, Massachusetts, London: MIT Press, 1996. - 524 P.
4. Barsky A.B. Neural networks: recognition, management, decision-making [Text] - A.B. Barsky. – М.: Finance and Statistics, 2004. - 176 p
5. Galushkin A.I. Neurocomputers and their application at the turn of the millennium in China. In 2 volumes. Volume 2 [Text] - A.I. Galushkin. – М.: Hotline – Telecom, 2004. – 464 p.
6. Khaykin S. Neural networks: a complete course [Text] - S. Khaykin S. – М.: Williams Publishing House, 2006. – 1104 p.
7. Komartsova L.G. Neurocomputers: Textbook for universities [Text] - L.G. Komartsova L.G., A.V. Maksimov. – М.: Bauman Publishing House, 2002. - 320 p.

8. Grossberg S. Competitive learning: From interactive activation to adaptive resonance // Cognitive Science – 1987. – Vol. 11. – P. 23 – 63.
9. Carpenter G.A., Grossberg S. A massively parallel architecture for selforganizing neural pattern recognition machine // Computing, Vision, Graphics and Image Processing. – 1987. – Vol. 37. – P. 54 – 115.
10. Dmitrienko V.D., Korsunov N.I. Fundamentals of the theory of neural networks [Text] - V.D. Dmitrienko, N.I. Korsunov. – Belgorod: BIIMMAP, 2001. – 159 p.
11. Barszcz T., Bielecki A., Wójcik M (2012) ART-type artificial neural networks applications for classification of operational states in wind turbines. Lecture Notes in Artificial Intelligence 6114, pp 11–18
12. Herbart I. F. Psychology / Foreword by V. Kurenny. - M.: Publishing House "Territory of the Future", 2007. (Series "Alexander Pogorelsky University Library"). - 288 p
13. Mill, J. (1948). Analysis of the phenomena of the human mind, 1829. In W. Dennis (Ed.). - 402 p.
14. History of theoretical sociology: G.Spencer's evolutionary sociology - the first experience of a systematic approach: in 4 volumes / edited by Yu.N. Davydov A.B.Hoffman, A.D. Kovalev, A.I. Kravchenko, V.V. Sapov. Moscow: "Canon+" OI "Rehabilitation", 2002 496с, vol. 1, sec. II, ch.2, pp. 241-290.
15. Mind and body The theories of their relationship. New York, D. Appleton and Company, 1873. - 242 p.
16. Kandinsky V. H. On pseudohallucinations (critical and clinical study). St. Petersburg: Edition of E. K. Kandinskaya, 1890.
17. Lewis D. G. Questions about life and the spirit: In 2 vols.: Trans. from English- St. Petersburg: Ed. journal. "Knowledge", 1875-1876.- Vol.1-2.
18. Beneke / I. A. Mikhailov // New Philosophical Encyclopedia: in 4 volumes / pre-scientific-ed. council V. S. Stepin. - 2nd ed., ispr. and add. - M.: Thought, 2010. - 2816 p.
19. Wundt V. Introduction to philosophy / Trans. from it. edited by E. L. Radlov.- St. Petersburg: Type. JSC "Brockhaus-Efron", 1903.- VIII, III, 310 p.- (B-ka self-education / Brockhaus-Efron).- Decree: pp. 302-310.- Adj. to the journal. "Vestn. i B-ka of Self-education" for 1903 - On the regional knigoprodav. ads.
20. Helmholtz Hermann Ludwig Ferdinand // The Great Soviet Encyclopedia: [in 30 volumes] / edited by A.M. Prokhorov - 3rd ed. - Moscow: Soviet Encyclopedia, 1969.
21. Fechner G. T. On the formula for measuring sensations.- In the collection: "Problems and methods of psychophysics". M., 197
22. Meinert T. Mechanics of mental activity. Speech delivered at the meeting of naturalists in Wiesbaden and at the Vienna Anthropological Society. Translated by Viktor Kandinsky, Moscow: Type by M. P. Lavrov and Co., 1880. 31 p.
23. Wundt V. The foundations of physiological psychology. Translated and supplemented by the latest research by Viktor Kandinsky. Issue 1-2. M.: Type. M. P. Lavrov and Co., 1880-1881. Issue 1A, 512 p.; Issue 2. Translated from the new German edition (1880), pp. 513-1038. - Rec.: "Medical Review", 1880, vol. 14, September, pp. 368-368. Russian Russian signature: S.; "Thought", 1881, No. 10-11, pp. 227-227; Popov L. K. - "Russian Speech", 1881, July, pp. 308-324; "Russian Courier" (Moscow), 1881, No. 44, February 14, pp. 4-4.
24. Landois L. Guide to human physiology, with the inclusion of histology and microscopic anatomy, processed from the point of view of practical medicine. Translated from the just published (2nd) German edition (by agreement with the author) by Dr. V. X. Kandinsky. M.: Type. M. N. Lavrov and Co., 1881. 224 p.
25. Alexey Kornaev, Leonid Savin, Nickolay Kornaev, Roman Zaretsky, Elena Kornaeva, Alexander Babin, Ivan Stebakov Machine learning for rotating machines: simulation, diagnosis and control // Vibroengineering PROCEEDINGS, Vol. 32, 2020. – pp. 223-228.
26. How to Classify Photos of Dogs and Cats (with 97% accuracy). Date Views 27.02.2022 machinelearningmastery.com/how-to-develop-a-convolutional-neural-network-to-classify-photos-of-dogs-and-cats/.

Gorin Andrei Vladimirovich

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

Zaretskiy Roman Konstantinovich

Orel State University named after I.S.Turgenev, Orel
302020, Orel, Naugorskoye shosse, 29
graduate student
E-mail: kogots@bk.ru

Pozdnyakov Andrei Konstantinovich

Orel State University named after I.S. Turgenev
student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: pozdnyakov1999@ya.ru

© Горин А.В., Зарецкий Р.К., Поздняков А.К., 2022

Л.А. САВИН, Д.Л. КОЗЫРЕВ, В.В. РОМАНОВ, О.А. ИВАНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ВИБРОЗАЩИТНОЙ СИСТЕМЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГАБАРИТНЫХ РАЗМЕРОВ

Аннотация. Статья посвящена исследованиям динамики рычажной релаксационной виброзащитной системы с фрикционным демпфером в зависимости от габаритов (плеч рычага) установки. Авторы предлагают схему виброзащитной системы, ее математическую модель, а так же структурную схему рычажной релаксационной виброзащитной системы. Представлена зависимость интегрального критерия качества от геометрического коэффициента инерции механической системы объекта защиты.

Ключевые слова: фрикционный демпфер, виброзащита, рычажная подвеска, релаксация, управление, мехатронная система.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дембаримдекер, А.Д. Амортизаторы транспортных машин [Текст]/ А.Д. Дембаримдекер. – М.: Машиностроение, 1985. – 199 с.
2. Топчиев, Ю.И. Атлас для проектирования систем автоматического регулирования [Текст] / Ю.И. Топчиев – М.: Машиностроение, 1989. – 752 с.
3. Блехман, И. И. Вибрационная механика [Текст]/ И.И. Блехман. – М.: Физматлит, 1994. – 400 с.
4. Горин, А.В. Применение гидравлических машин ударного действия для образования скважин в грунтах: монография [Текст]/ А.В. Горин, Д.Н. Ешуткин, М.А. Горина. - Орел: Госуниверситет - УНПК, 2015. – 151 с.
5. Чупраков, Ю.И. Гидравлические системы защиты человека-оператора от общей вибрации [Текст] / Ю.И. Чупраков. – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с.
6. Гусаров, В.И. Виброзащитные механизмы переменного демпфирования систем железнодорожного транспорта [Текст] / В.И. Гусаров, А.В. Ковтунов, О.П. Мулюкин; под ред. О.П. Мулюкина. – Самара: СамГАСП, 2004. – 178 с.
7. Динамика системы дорога – шина – автомобиль – водитель [Текст] / под ред. А.А. Хачатурова. – М.: Машиностроение, 1976. – 536 с.
8. Розенблат, Г.М. Динамические системы с сухим трением [Текст] / Г.М. Розенблат. – М.; Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2006. – 204 с.
9. Бабицкий, В.И. Колебания в сильно нелинейных системах: Нелинейности порогового типа [Текст] / В.И. Бабицкий, В.Л. Крупенин. – М.: Наука, 1985. – 320 с.
10. Генкин, М.Д. Методы управляемой виброзащиты машин [Текст] / М.Д. Генкин, В.Г. Елезаров, В.В. Яблонский. – М.: Наука, 1985. – 240 с.
11. Елисеев, С.В. Динамические гасители колебаний [Текст] / С.В. Елисеев, Г.П. Нерубенко. – Новосибирск: Наука, 1982. – 144 с.
12. Алифов, А. А. Взаимодействие нелинейных колебательных систем с источниками энергии [Текст]/ А.А. Алифов, К. А. Фролов. – М.: Наука, 1985. – 327 с.
13. Пытьев, Ю.П. Методы анализа и интерпретации эксперимента [Текст] / Ю.П. Пытьев. – М.: Издательство МГУ, 1990. – 286 с.
14. Болотник, Н.Н. Оптимизация амортизационных систем [Текст] / Н.Н. Болотник. – М.: Наука, 1983. – 256 с.
15. Кетков, Ю.Л. MATLAB7: программирование, численные методы [Текст] / Ю.Л. Кетков, А.Ю. Кетков, М.М. Шульц. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 752 с.
16. Герман-Галкилин, С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК [Текст]/С.Г. Герман-Галкилин. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
17. Алексеев, Е.Р. Scilab: Решение инженерных и математических задач [Текст] / Е.Р. Алексеев, О.В. Чеснокова, Е.А. Рудченко. – М: ATL Linux; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 269 с.

Савин Леонид Алексеевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
доктор техн. наук, профессор кафедры мехатроники,
механики и робототехники
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: savin3257@mail.ru

Козырев Дмитрий Леонидович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
Учебный мастер
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: stalker.20122@yandex.ru

Романов Владислав Владимирович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
аспирант
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: vlad162615@yandex.ru

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

L.A. SAVIN, D.L. KOZYREV, V.V. ROMANOV, O.A. IVANOV

STUDY OF DYNAMIC PROPERTIES MECHANICAL VIBRATION PROTECTION SYSTEM DEPENDING ON DIMENSIONS

Abstract. *The article is devoted to the study of the dynamics of a lever relaxation vibration protection system with a friction damper, depending on the dimensions (lever arms) of the installation. The authors propose a scheme of a vibration protection system, its mathematical model, as well as a structural diagram of a lever relaxation vibration protection system. The dependence of the integral quality criterion on the geometric coefficient of inertia of the mechanical system of the protected object is presented.*

Keywords: *friction damper, vibration protection, link suspension, relaxation, control, mechatronic system.*

BIBLIOGRAPHY

1. Dembarimdecker, A.D. Shock absorbers of transport vehicles [Text] / A.D. Dembarimdecker. – M.: Mashinostroenie, 1985. – 199 p.
2. Topcheev, Yu.I. Atlas for the design of automatic control systems [Text] / Yu.I. Topcheev - M.: Mashinostroenie, 1989. - 752 p.
3. Blekhnman, I.I. Vibration mechanics [Text] / I.I. Blekhnman. – M.: Fizmatlit, 1994. – 400 p.
4. Gorin, A.V. The use of hydraulic impact machines for the formation of wells in soils: monograph [Text] / A.V. Gorin, D.N. Yeshutkin, M.A. Gorin. Eagle: State University - UNPK, 2015. - 151 p.
5. Chuprakov, Yu.I. Hydraulic systems for protecting a human operator from general vibration [Text] / Yu.I. Chuprakov. - M.: Mashinostroenie, 1987. - 224 p.
6. Gusarov, V.I. Vibration protection mechanisms of variable damping of railway transport systems [Text] / V.I. Gusarov, A.V. Kovtunov, O.P. Mulyukin; ed. O.P. Mulyukin. - Samara: SamGASP, 2004. - 178 p.
7. Dynamics of the system road - tire - car - driver [Text] / ed. A.A. Khachaturov. - M.: Mashinostroenie, 1976. - 536 p.
8. Rosenblat, G.M. Dynamic systems with dry friction [Text] / G.M. Rosenblat. – M.; Izhevsk: Research Center "Regular and Chaotic Dynamics", 2006. - 204 p.
9. Babitsky, V.I. Oscillations in strongly non-linear systems: Threshold-type non-linearities [Text] / V.I. Babitsky, V.L. Krupenin. – M.: Nauka, 1985. – 320 p.
10. Genkin, M.D. Methods of controlled vibration protection of machines [Text] / M.D. Genkin, V.G. Elezarov, V.V. Yablonsky. – M.: Nauka, 1985. – 240 p.
11. Eliseev, S.V. Dynamic vibration dampers [Text] / S.V. Eliseev, G.P. Nerubenko. - Novosibirsk: Nauka, 1982. - 144 p.
12. Alifov, A.A. Interaction of nonlinear oscillatory systems with energy sources [Text] / A.A. Alifov, K. A. Frolov. – M.: Nauka, 1985. – 327 p.
13. Pytiev Yu.P. Methods of analysis and interpretation of the experiment [Text] / Yu.P. Pytiev. - M.: Publishing house of Moscow State University, 1990. - 286 p.
14. Bolotnik, N.N. Optimization of depreciation systems [Text] / N.N. Bolotnik. – M.: Nauka, 1983. – 256 p.
15. Ketkov, Yu.L. MATLAB7: programming, numerical methods [Text] / Yu.L. Ketkov, A.Yu. Ketkov, M.M. Schultz. - St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2005. - 752 p.
16. Herman-Galkilin, S.G. Matlab & Simulink. Design of mechatronic systems on a PC [Text] / S.G. Herman-Galkilin. - St. Petersburg: KORONA-Vek, 2008. - 368 p.
17. Alekseev, E.R. Scilab: Solution of engineering and mathematical problems [Text] / E.R. Alekseev, O.V. Chesnokova, E.A. Rudchenko. – M: ATL Linux; BINOMIAL. Knowledge Laboratory, 2008. - 269 p.

Savinin Leonid Alekseevich
Orel State University named after I.S. Turgenev
doctor of technical Sciences, professor of the
department mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: savin3257@mail.ru

Kozyrev Dmitry Leonidovich
Orel State University named after I.S. Turgenev
training master
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: stalker.20122@yandex.ru

Romanov Vladislav Vladimirovich

Orel State University named after I.S. Turgenev
graduate student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: vlad162615@yandex.ru

Ivanov Oleg Anatolyevich

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

© Савин Л.А., Козырев Д.Л., Романов В.В., Иванов О.А., 2022

С.В. МАЙОРОВ, М.Э. БОНДАРЕНКО, М.А. ТОКМАКОВА, В.А. ПОЗДНЯКОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ АССИМЕТРИЧНОГО РОТОРА В АКТИВНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ОПОРАХ

Аннотация. В статье рассматриваются результаты изучения динамического поведения асимметричного жесткого ротора в активных комбинированных опорах, включающих подшипник качения, многолепестковый газодинамический подшипник и систему электромагнитных и пьезоэлектрических приводов. Механизм работы электромагнитных и пьезоэлектрических приводов описывается в имитационной модели на основе уравнений, описывающих электромагнетизм и пьезоэффект. Результаты математического моделирования представлены в виде диаграмм Кэмпбелла, амплитудно-частотных характеристик системы ротор-подшипник и жесткости активных комбинированных опор.

Ключевые слова: ротор, комбинированный подшипник, жесткость, собственная частота, активное управление.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ханович М.Г. Опоры жидкостного трения и комбинированные опоры. Изд.: Машгиз, Ленинград, 1960. – 272 с.
2. Паркер Р., Флеминг Д. Экспериментальная оценка серии гибридных подшипников качения. NASA TN D-7011, 1970. - 27 с.
3. Бютнер, М., Мёрфи Б. Долговечные подшипники главного двигателя Шаттла. NASA CR179455, 1986. - 163 с.
4. Нильсон К. Комбинированные подшипники в турбомашиностроении. NASA CR-168124, 1982. - 386 с.
5. Андерсон В., Флеминг Д. Гибридные подшипники – новый концепт высокоскоростных подшипников. ASME J. Lubr. Techn. 94, 1972. – С.117-124
6. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. Москва, Изд.: МГТУ им. Баумана, 1999. 592 с.
7. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа.– М.: Наука, 1978. - 736 с
8. Константиnescу В.Н. и др. Подшипники скольжения: расчет, проектирование, смазка. – Бухарест: Изд-во АН РНР, 1964. – 458 с.
9. Хори Ю. Гидродинамическая теория смазки. Springer, 2005
10. Харрис Т., Котсалас М. Анализ подшипников качения. Основные понятия технологии подшипников качения. CRC Press, Boca Raton.
11. Журавлев Ю.Н. Активные магнитные подшипники: теория, расчет, применение., СПб.: Политехника, 2003. - 206 с.
12. Хамой А. Проектирование подшипников в машиностроении / А. Harnoy – N.-Y., 2003. – 628 с.

Майоров Сергей Владимирович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»,
канд. техн. наук, доцент кафедры мехатроника,
механика и робототехника
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: sergeyostu@ya.ru

Бондаренко Максим Эдуардович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
канд. техн. наук, старший преподаватель
кафедры мехатроники, механики и робототехники
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: maxbondarenko22@yandex.ru

Токмакова Мария Андреевна
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
аспирант
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: gorin57@mail.ru

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

S.V. MAIOROV, M.E. BONDARENKO, M.A. TOKMAKOVA, V.A. POZDNYAKOVA

INVESTIGATION OF THE DYNAMICS OF AN ASYMMETRIC ROTOR IN ACTIVE COMBINED SUPPORTS

Abstract. *The paper focuses on the results of studying the dynamic behavior of asymmetric rigid rotor on the active hybrid bearings (AHB) including a rolling bearing, a gas-dynamic multi-foil bearing and a system of the electromagnetic and piezo actuators. The mechanisms of electromagnetic and piezo actuators operation are described by a simulation model based on the equations describing electromagnetism and piezo effect. The results of mathematical modeling in the form of Campbell diagrams, the frequency response of the rotor-bearing system, the stiffness of the AHB.*

Keywords: rotor, hybrid bearings, stiffness, natural frequencies, active control.

BIBLIOGRAPHY

1. Khanovich M.G. Liquid friction supports and combined supports. Ed.: Mashgiz, Leningrad, 1960. – 272 p.
2. Parker R., Fleming D. Experimental evaluation of a series of hybrid rolling bearings. NASA TN D-7011, 1970. - 27 p.
3. Byutner, M., Murphy B. Long-lasting bearings of the Shuttle main engine. NASA CR179455, 1986. - 163 p.
4. Nilson K. Combined bearings in turbomachinery. NASA CR-168124, 1982. - 386 p.
5. Anderson V., Fleming D. Hybrid bearings – a new concept of high-speed bearings. ASME J. Lubr. Techn. 94, 1972. – pp.117-124
6. Feodosiev V.I. Resistance of materials. Moscow, Ed.: Bauman Moscow State Technical University, 1999. 592 p.
7. Loitsyansky L.G. Mechanics of liquid and gas. – M.: Nauka, 1978. - 736 p.
8. Constantinescu V.N. et al. Sliding bearings: calculation, design, lubrication. – Bucharest: Publishing House of the Russian Academy of Sciences, 1964. – 458 p.
9. Hori Yu. Hydrodynamic theory of lubrication. Springer, 2005
10. Harris T., Kotsalas M. Analysis of rolling bearings. Basic concepts of rolling bearing technology. CRC Press, Boca Raton.
11. Zhuravlev Yu.N. Active magnetic bearings: theory, calculation, application., St. Petersburg: Polytechnic, 2003. - 206 p.
12. Khamoy A. Design of bearings in mechanical engineering / A. Harnoy – N.-Y., 2003. – 628 p.

Maierov Sergei Vladimirovich

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

Tokmakova Maria Andreevna

Orel State University named after I.S. Turgenev
graduate student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: gorin57@mail.ru

Bondarenko Maksim Edyardovich

Orel State University named after I.S. Turgenev
candidate of technical Sciences, associate professor of
the department mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: maxbondarenko22@yandex.ru

Pozdnyakova Valeria Alexandrovna

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

© Майоров С.В., Бондаренко М.Э., Токмакова М.А., Позднякова В.А., 2022

А.В. СЫТИН, А.Ю. КОРНЕЕВ, А.А. КИРИЧЕК, И.В. КНОДЕЛЬ

ПРИМЕНЕНИЕ УПОРНЫХ МЕХАТРОННЫХ ЛЕПЕСТКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ В ТУРБОМАШИНАХ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Аннотация. В статье рассматриваются адаптивные опоры роторов высокоскоростных турбомашин. В качестве опор выбраны мехатронные газодинамические подшипники с упруго-податливой опорной поверхностью. Авторы предлагают в качестве упругих элементов – многослойные лепестки с применением биморфных пьезоэлектрических элементов, работающих в режиме генератора для определения деформаций упругих элементов, а также в режиме актуатора для формирования оптимальной опорной поверхности. Представлены основные способы, особенности и основные характеристики подключения биморфов к источнику питания. Предложена концепция многослойных упругих элементов, технологический процесс их изготовления и результаты практической реализации в виде мехатронного многослойного газодинамического подшипника с биморфными пьезоэлектрическими лепестками. Представлена математическая модель данного вида опор на основании уравнения Рейнольдса для слоя газовой смазки, а также уравнение пьезоэлектрического эффекта.

Ключевые слова: биморфный элемент, лепестковый газодинамический подшипник, активное управление, мехатроника, пьезоэлемент

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хайманн Б., Герт В., Попп К., Репецкий О. Мехатроника: Компоненты, методы, примеры: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. – 602 с.
2. Паничев А.Е. Пьезокерамические актуаторы: Учеб. пособие. – Ростов – на – Дону, 2008. – 159 с.
3. М.А. Нуриев, А.М. Маггеррамов, М.А. Курбанов, Р.С. Исмаилова, Х.А. Садыхов Об особенностях пьезоэлектричества в полимерных композициях с неоднородной поляризацией // ЭОМ. 2004. №2. С. 55-58.
4. G.K.S Prakash Raju, P Ashok Kumar, K Srinivasa Rao, Vanaja Aravapalli. Design and Simulation of Cantilever Based MEMS Bimorph Piezoelectric Energy Harvester. Mechanics, Materials Science & Engineering Journal, Magnolihe, 2017, 9 (1).
5. Софронов Алексей, Никифоров Виктор, Климашин Виталий Биморфные пьезоэлектрические элементы: актуаторы и датчики // Компоненты и Технологии. 2003. №30. С. 46-48.
6. Micky Rakotondrabe, Ioan Ivan. Principle, characterization and control of a new hybrid thermo-piezoelectric microactuator.. IEEE. IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA'10., May 2010, Anchorage - Alaska, United States. sur CD ROM, pp. 1580-1585, 2010.
7. Патент JPH № 0454309. GASBEARING / Tsumaki Nobuo. Оpubл. 21.02.1992.
8. Sharapov, V. Piezoceramic sensors, Springer Verlag, Heidelberg, Dordrecht, London, New York, (2011) 498 p.
9. Пешти Ю.В. Газовая смазка / Ю.В. Пешти // М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1993. – 382 с.
10. Хешмет Х., Уоловит Дж. А., Пинкус О. Анализ газового ленточного радиального подшипника // Проблемы трения и смазки. –1983. –Т.105. –№4. – С. 124-132.
11. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластины и оболочки. – М.: Наука, 1966. – 636 с.
12. Колкунов Н.В. Основы расчета упругих оболочек. Изд. 2-е переработ. и доп. Учеб. Пособие для вузов. М., «Высш. школа», 1972 – 296 с.
13. Бобцов А.А., Бойков В.И., Быстров С.В., Григорьев В.В. Исполнительные устройства и системы для микроперемещений.- СПб ГУ ИТМО, 2011.- 131 с.
14. Некрасов М.М., Лавриненко В.В., Божко А.А. и др. Элементы пьезоэлектроники и возможности их применения в электротехнике // Электричество, 1971, Т 12. – С. 51-59.
15. Лавриненко В.В., Карташев И.А. Пьезоэлектрические двигатели. – М.: Машиностроение, 1972. – 136 с.
16. Джагунов Р.Г., Ерофеев А.А. Пьезоэлектрические элементы в приборостроении и автоматике. – Л.: Машиностроение, 1986. – 256 с.

Сытин Антон Валерьевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Мехатроника, механика и робототехника»
302040, г. Орел, ул. Приборостроительная, д. 10,
кв. 29
Тел.: 89192046050
E-mail: sytin@mail.ru

Корнеев Андрей Юрьевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Декан факультета среднего профессионального
образования,
Кандидат технических наук, доцент
302030, г. Орел, ул. Московская, д.34
Тел.: 89534746262
E-mail: korneev_andrey@mail.ru

Киричек Алексей Андреевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Аспирант «Мехатроника, механика и
робототехника»
302040, г. Орел, ул. Пожарная, д. 32
Тел.: 89997551435
E-mail: alexkirichek@yandex.ru

Кнодель Игорь Витальевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Бакалавр «Мехатроника, механика и робототехника»
302009, г. Орел, ул. Гайдара, д. 37
Тел.: 89996040942.
E-mail: mister.knodel@yandex.ru

A.V. SYTIN, Y.S. KORNEEV, A.A. KIRICHEK, I.V. KNODEL

DESIGNING MECHATRONIC RESISTANT SLIDING BEARINGS WITH ELASTIC BIMORPH ELEMENTS

Abstract. *The present paper considers adaptive rotor bearings of high-speed turbomachines. The mechatronic gas dynamic bearings are chosen with elastic surface. Authors suggest using multilayer foils with bimorph piezoelectric elements that operate in the generator regime to determine the deformation of elastic elements and in the actuator regime to form an optimal bearing's surface. The paper shows basic methods, main features and characteristics of bimorph connection to the power supply. A concept of multilayer elastic elements, technological process of their manufacturing and results of their application to a mechatronic foil gas dynamic bearing are presented. A mathematical model of the bearings in question is shown based on the Reynolds equation for the gas film, equations of theory of elasticity and additional expressions for consideration of the piezoelectric effect. The surface area of every elastic element is described using the momentum theory of thin-walled nonclosed cylindrical shells and the effect of bimorph piezoelements is taken into account by means of setting the boundary conditions along the free generatrix of each element.*

Keywords: *bimorph element, foil gas dynamic bearing, active control, mechatronics, piezoelemen.*

BIBLIOGRAPHY

1. Hayman B., Gert V., Popp K., Repeckiy O. Mehatronika: Komponenti, metodi, primeri: Ucheb. posobie. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2010. – 602 s.
2. Panichev A.E. Piezokeramicheskie aktuators: Ucheb. posobie. – Rostov – na – Donu, 2008. – 159 s.
3. M.A. Nuriev, A.M. Magerramov, M.A. Kurbanov, R.S. Ismailova, H.A. Sadihov Ob osobennostyah piezoelektricheskikh v polimernykh kompozitsiyakh s neodnorodnoy polarizatsiey // EOM. 2004. №2. S. 55-58.
4. G.K.S Prakash Raju, P Ashok Kumar, K Srinivasa Rao, Vanaja Aravapalli. Design and Simulation of Cantilever Based MEMS Bimorph Piezoelectric Energy Harvester. Mechanics, Materials Science & Engineering Journal, Magnolithe, 2017, 9 (1).
5. Sofronov Aleksey, Nikiforov Viktor, Klimashin Vitaliy Bimorfnye piezoelektricheskie elementi: aktuators i datchiki // Komponenti i Tehnologii. 2003. №30. S. 46-48.
6. Micky Rakotondrabe, Ioan Ivan. Principle, characterization and control of a new hybrid thermo-piezoelectric microactuator.. IEEE. IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA'10., May 2010, Anchorage - Alaska, United States. sur CD ROM, pp.1580-1585, 2010.
7. Patent JPH №0454309. GASBEARING / Tsumaki Nobuo. Opubl. 21.02.1992.
8. Sharapov, V. Piezoceramic sensors, Springer Verlag, Heidelberg, Dordrecht, London, New York, (2011) 498 p.
9. Peshti Y.V. Gazovaya smazka / Y. V. Peshti // M.: MGTU im. N.E. Bauman, 1993. – 382 s.
10. Heshmet H., Uolovit Dg. A., Pinkus O. Analiz gazovogo lentchnogo radialnogo podshipnika // Problemi treniya i smazki. –1983. –T.105. –№4. – S. 124-132.
11. Timoshenko S.P., Voynovskiy-Kriger S. Plastini i obolochki. – M.: Nauka, 1966. – 636 s.

12. Kolkunov N.V. Osnovi rascheta uprugih obolochek. Izd. 2-e pererabot. i dop. Ucheb. Posobie dlya vuzov. M., «Vissh. shkola», 1972 – 296 s.
13. Bobtsov A.A., Boykov V.I., Bistrov S.V., Grigoriev V.V. Ispolnitelnie ustroystva i sistemi dlya mikroperemesheniy. – SPB GU ITMO, 2011. – 131 s.
14. Nekrasov M.M., Lavrinenko V.V., Bogko A.A. i dr. Elementi piezoelektroniki I vozmozhnosti ih primeneniya v elektrotehnike // Elektrichestvo, 1971, T 12. – S. 51-59.
15. Lavrinenko V.V. Kartashev I.A. Piezoelektricheskie dvigateli. – M.: Mashinostroenie, 1972. – 136 s.
16. Djagupov R.G., Erofeev A.A. Piezoelektricheskie elementi v priborostroenii i avtomatike. – L.: Mashinostroenie, 1986. – 256 s.

Sytin Anton Valerievich

FGBOU VO «OGU named after I.S.Turgenev», Orel
Candidate of technical Sciences, associate Professor of
«Mechatronics, mechanics and robotics»
302040, Orel, Priborostroitel'naya st., 10-29
Tel.: 89192046050
E-mail: sytin@mail.ru

Korneev Andrey Yurievich

FGBOU VO «OGU named after I.S.Turgenev», Orel
Candidate of technical Sciences, assistant professor,
dean of faculty of mean professional education
302030, Orel, Moskovskaya street, 34
Tel.: 89066624422
E-mail: korneev_andrey@mail.ru

Kirichek Alexey Andreevich

FGBOU VO «OGU named after I.S.Turgenev», Orel
PhD student of «Mechatronics, mechanics and
robotics»
302040, Orel, Pozharnaya st., 32
Tel.: 89997551435
E-mail: alexkirichek@yandex.ru

Knodel Igor Vitalievich

FGBOU VO «OGU named after I.S.Turgenev», Orel
Student of «Mechatronics, mechanics and robotics»
302009, Orel, Gaidara st., 37
Tel.: 89996040942.
E-mail: mister.knodel@yandex.ru

© Сытин А.В., Корнеев А.Ю., Киричек А.А., Кнодель И.В., 2022

А.Ю. РОДИЧЕВ, Р.Н. ПОЛЯКОВ, И.В. РОДИЧЕВА, К.К. НАСТЕПАНИН

МОНИТОРИНГ И ДИАГНОСТИКА ИЗНАШИВАНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ

Аннотация. В статье рассматриваются закономерности изменения технического состояния агрегатов, узлов, механизмов и их систем определяющие затраты ресурсов и потери, связанные с поддержанием работоспособности энергогенерирующего оборудования. Представлен анализ литературных источников отечественной и зарубежной литературы посвященный мониторингу и диагностике. Разработана концепция мониторинга состояния подшипника скольжения в реальном времени и предиктивной диагностики предельного изнашивания рабочей поверхности. Предложена принципиальная схема мониторинга состояния подшипника скольжения в реальном времени. Описан интерфейс программы мониторинга состояния подшипника скольжения в реальном времени и предиктивной диагностики предельного изнашивания рабочей поверхности. Сделаны выводы и даны рекомендации по дальнейшему применению представленной концепции мониторинга состояния подшипника скольжения в реальном времени и предиктивной диагностики предельного изнашивания рабочей поверхности.

Ключевые слова: мониторинг, диагностика, подшипник, скольжение, поверхность, износ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. König F, Sous C, Ouald Chaib A, Jacobs G, 2021 Events for Wear Monitoring in Sliding Bearing Systems. Tribology International, Volume 155, <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106811>
2. Xincheng Zhuang, Sajad Saraygord Afshari, Tianxiang Yu, Xihui Liang, 2020. A hybrid model for wear prediction of a single revolute joint considering a time-varying lubrication condition. Wear, Volumes 442–443, <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.203124>
3. S.J. Eder, C. Ielchici, S. Krenn, D. Brandtner. 2018. An experimental framework for determining wear in porous journal bearings operated in the mixed lubrication regime. Tribology International, Volume 123, Pages 1-9, <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.02.026>
4. P.Revill, A.Clarke, R.Pullin, G.Dennis. 2021. Acoustic emission monitoring of wear in aerospace self-lubricating bearing liner materials. Wear, Volumes 486–487. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.204102>
5. Sarychev G.A., Shchavelin V.M. 1994. Acoustic emission method for research and control of friction pairs. NDT & E International, Volume 27, Issue 4, 1994, Page 216, [https://doi.org/10.1016/0963-8695\(94\)90520-7](https://doi.org/10.1016/0963-8695(94)90520-7)
6. SEE technology for condition monitoring of bearings: Design Engineering, pp. 43, 46 (Jan. 1991), NDT & E International, Volume 27, Page 216, [https://doi.org/10.1016/0963-8695\(94\)90529-0](https://doi.org/10.1016/0963-8695(94)90529-0)
7. G.A.Sarychev, V.M.Shchavelin. 1991. Acoustic emission method for research and control of friction pairs. Tribology International, Volume 24, Issue 1, Pages 11-16, [https://doi.org/10.1016/0301-679X\(91\)90056-F](https://doi.org/10.1016/0301-679X(91)90056-F)
8. V.A. Godlevskiy, V.A. Sandler, R.I. Harlamo. 2017. Application of Electric Methods to Estimate Lubrication Layer Supramolecular organization. Procedia Engineering, Volume 206, Pages 676-681, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.536>
9. Holroyd T.J., King S., Randall N. Machine condition monitoring via stress wave sensing: Condition Monitoring and Diagnostic Technology, Vol. 1, No. 3, pp. 95–98 (Jan. 1991). NDT & E International, Volume 27, Page 216, [https://doi.org/10.1016/0963-8695\(94\)90531-2](https://doi.org/10.1016/0963-8695(94)90531-2)

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

Настепакин Кирилл Константинович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
студент
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: gorin57@mail.ru

Поляков Роман Николаевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»,
доктор техн. наук, зав. кафедрой мехатроника,
механика и робототехника
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: romanpolak@mail.ru

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

A.Yu. RODICHEV, R.N. POLYAKOV, I.V. RODICHEVA, K.K. NASTEPANIN

MONITORING AND DIAGNOSIS OF WEAR OF THE WORKING SURFACE OF A PLAIN BEARING

Abstract. The article discusses the patterns of changes in the technical condition of units, components, mechanisms and their systems that determine the cost of resources and losses associated with maintaining the performance of power generating equipment. The analysis of literary sources of domestic and foreign literature devoted to monitoring and diagnostics is presented. The concept of monitoring the condition of a plain bearing in real time and predictive diagnostics of the limiting wear of the working surface has been developed. A schematic diagram of monitoring the state of a plain bearing in real time is proposed. The interface of the program for monitoring the condition of a plain bearing in real time and predictive diagnostics of the limiting wear of the working surface is described. Conclusions are drawn and recommendations are given for the further application of the presented concept of monitoring the condition of a plain bearing in real time and predictive diagnostics of the limiting wear of the working surface.

Keywords: monitoring, diagnostics, bearing, sliding, surface, wear.

BIBLIOGRAPHY

1. König F, Sous C, Ouald Chaib A, Jacobs G, 2021 Events for Wear Monitoring in Sliding Bearing Systems. Tribology International, Volume 155, <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106811>
2. Xinchun Zhuang, Sajad Saraygord Afshari, Tianxiang Yu, Xihui Liang, 2020. A hybrid model for wear prediction of a single revolute joint considering a time-varying lubrication condition. Wear, Volumes 442–443, <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.203124>
3. S.J. Eder, C. Ielchici, S. Krenn, D. Brandtner. 2018. An experimental framework for determining wear in porous journal bearings operated in the mixed lubrication regime. Tribology International, Volume 123, Pages 1-9, <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.02.026>
4. P.Revill, A.Clarke, R.Pullin, G.Dennis. 2021. Acoustic emission monitoring of wear in aerospace self-lubricating bearing liner materials. Wear, Volumes 486–487. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.204102>
5. Sarychev G.A., Shchavelin V.M. 1994. Acoustic emission method for research and control of friction pairs. NDT & E International, Volume 27, Issue 4, 1994, Page 216, [https://doi.org/10.1016/0963-8695\(94\)90520-7](https://doi.org/10.1016/0963-8695(94)90520-7)
6. SEE technology for condition monitoring of bearings: Design Engineering, pp. 43, 46 (Jan. 1991), NDT & E International, Volume 27, Page 216, [https://doi.org/10.1016/0963-8695\(94\)90529-0](https://doi.org/10.1016/0963-8695(94)90529-0)
7. G.A.Sarychev, V.M.Shchavelin. 1991. Acoustic emission method for research and control of friction pairs. Tribology International, Volume 24, Issue 1, Pages 11-16, [https://doi.org/10.1016/0301-679X\(91\)90056-F](https://doi.org/10.1016/0301-679X(91)90056-F)
8. V.A. Godlevskiy, V.A. Sandler, R.I. Harlamov. 2017. Application of Electric Methods to Estimate Lubrication Layer Supramolecular organization. Procedia Engineering, Volume 206, Pages 676-681, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.536>
9. Holroyd T.J., King S., Randall N. Machine condition monitoring via stress wave sensing: Condition Monitoring and Diagnostic Technology, Vol. 1, No. 3, pp. 95–98 (Jan. 1991). NDT & E International, Volume 27, Page 216, [https://doi.org/10.1016/0963-8695\(94\)90531-2](https://doi.org/10.1016/0963-8695(94)90531-2)

Rodichev Alexey Yurevich

Orel State University named after I.S. Turgenev
candidate of technical Sciences, associate professor of
the department service and repair of machines
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: rodfox@yandex.ru

Rodicheva Irina Vladimirovna

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

Polyakov Rman Nikolaevich

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

Nastepanin Kirill Konstantinovich

Orel State University named after I.S. Turgenev
student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: gorin57@mail.ru

© Родичев А.Ю., Поляков Р.Н., Родичева И.В., Настепанин К.К., 2022

Д.В. ШУТИН, А.С. ФЕТИСОВ

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ПОКАЗАНИЙ ДАТЧИКОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОЛОЖЕНИЯ РОТОРА В ОПОРАХ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ

Аннотация. В статье представлен анализ точности показаний индуктивных датчиков расстояния при измерении перемещений роторов в опорах жидкостного трения. В ходе проведенного эксперимента показания индуктивного датчика сравнивались с показаниями механического микрометра-индикатора. Результаты показывают, что размах показаний индуктивного датчика существенно превышает размах показаний механического микрометра. Данные согласуются с данными других авторов, полученными для вихретоковых датчиков перемещения. Проведен дополнительный анализ распределения показаний протестированных измерительных средств за полный оборот ротора. Характер распределения показывает, что выбор релевантной методики обработки показаний датчика может обеспечить приемлемую точность измерений, если не требуется отслеживание расстояния до поверхности ротора в режиме реального времени с многократной его переоценкой в течение одного оборота. Такие измерительные задачи характерны для систем управления активных триботронных подшипников жидкостного трения с функциями гашения вибраций. В таких случаях рекомендуется применение емкостных датчиков расстояния, погрешность которых сопоставима с погрешностью механических измерительных средств.

Ключевые слова: роторные системы, активные подшипники, триботронные опоры, виброперемещения, индуктивные датчики расстояния, точность измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Santos I.F. Mechatronics Applied to Machine Elements with Focus on Active Control of Bearing, Shaft and Blade Dynamics. PhD thesis. Technical University of Denmark, 2010. 107 p.
2. Farmakopoulos P.G., Nikolakopoulos M.G. Design of an active hydromagnetic journal bearing // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology. Vol. 227. 2013. PP. 673-694.
3. Deckler D.C., Veillette R.J., Braun M.J., Choy F.K. Simulation and Control of an Active Tilting-Pad Journal Bearing // STLE Tribology Trans, 47, 2000. PP. 440-458.
4. M.A. Haugaard. On Controllable Elastohydrodynamic Fluid Film Bearings. DTU Mechanical Engineering, PhD thesis, 2011. 182 p.
5. Habermann H., Liard G. An active magnetic bearing system // Precision Engineering. Vol. 2, Issue 3, 1980. PP. 139-140.
6. Ecker H., Tondl A. Increasing the Stability Threshold of a Rotor by Open-Loop Control of the Bearing Mount Stiffness, In: Proceedings of ISCORMA-3, Cleveland, Ohio, 19—23 September 2005.
7. Mizumoto, H., Arii, S., Yabuta, Y., Tazoe, Y., Vibration Control of a High-Speed Air-Bearing Spindle using an Active Aerodynamic Bearing. International Conference on Control, Automation and Systems 2010, Gyeonggi-do, Korea, Oct. 27-30, 2010 in KINTEX, ISBN 978-89- 93215-02-1.
8. Mechanical vibration — Vibration of rotating machinery equipped with active magnetic bearings. - ISO 14839-1:2018. — 22 P.
9. M. Mahdal Verification method of rotors instability measurement / M. Mahdal, J. Los, J. Zavadil // 14th International Conference: Carpathian Control Conference (ICCC), 2013. - DOI: 10.1109/CarpathianCC.2013.6560543.
10. Вихретоковый датчик перемещения DonghaoTest [Internet]: <http://www.donghaotest.com/productinfo/174064.html>.
11. Вихретоковый датчик HZ-891XL [Internet]: <http://www.shhangzhen.com/pd.jsp?id=31>.

Шутин Денис Владимирович

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
научный сотрудник НОЦ «Интеллектуальные
технологии мониторинга и диагностики
rover.ru@gmail.com

Фетисов Александр Сергеевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Младший научный сотрудник НОЦ
«Интеллектуальные технологии мониторинга и
диагностики rover.ru@gmail.com

D.V. SHUTIN, A.S. FETISOV

ACCURACY OF VIBRATION SENSORS IN PROBLEMS OF ACTIVE CONTROL OF ROTOR SYSTEMS

Abstract. *The article presents the results of experimental studies of vibration displacement sensors as part of active rotor systems. The structure of the experiment, information-measuring system is given. The results of measurements for a smooth and worn shaft surface are given. Conclusions are drawn about the applicability of inductive vibration sensors for control tasks of active rotor systems.*

Keywords: *active control system, vibration displacement sensor, rotor.*

BIBLIOGRAPHY

1. Santos I.F. Mechatronics Applied to Machine Elements with Focus on Active Control of Bearing, Shaft and Blade Dynamics. PhD thesis. Technical University of Denmark, 2010. 107 p.
2. Farmakopoulos P.G., Nikolakopoulos M.G. Design of an active hydromagnetic journal bearing // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology. Vol. 227. 2013. PP. 673-694.
3. Deckler D.C., Veillette R.J., Braun M.J., Choy F.K. Simulation and Control of an Active Tilting-Pad Journal Bearing // STLE Tribology Trans, 47, 2000. PP. 440-458.
4. M.A. Haugaard. On Controllable Elastohydrodynamic Fluid Film Bearings. DTU Mechanical Engineering, PhD thesis, 2011. 182 p.
5. Habermann H., Liard G. An active magnetic bearing system // Precision Engineering. Vol. 2, Issue 3, 1980. PP. 139-140.
6. Ecker H., Tondl A. Increasing the Stability Threshold of a Rotor by Open-Loop Control of the Bearing Mount Stiffness, In: Proceedings of ISCORMA-3, Cleveland, Ohio, 19—23 September 2005.
7. Mizumoto, H., Arii, S., Yabuta, Y., Tazoe, Y., Vibration Control of a High-Speed Air-Bearing Spindle using an Active Aerodynamic Bearing. International Conference on Control, Automation and Systems 2010, Gyeonggi-do, Korea, Oct. 27-30, 2010 in KINTEX, ISBN 978-89- 93215-02-1.
8. Mechanical vibration — Vibration of rotating machinery equipped with active magnetic bearings. - ISO 14839-1:2018. – 22 P.
9. M. Mahdal Verification method of rotors instability measurement / M. Mahdal, J. Los, J. Zavadil // 14th International Conference: Carpathian Control Conference (ICCC), 2013. - DOI: 10.1109/CarpathianCC.2013.6560543.
10. Eddy current displacement sensor DonghaoTest [Internet]: <http://www.donghaotest.com/productinfo/174064.html>.
11. Eddy current displacement sensor HZ-891XL [Internet]: <http://www.shhangzhen.com/pd.jsp?id=31>.

Shutin Denis Vladimirovich

Orel State University,
Researcher, SEC "Intelligent technologies for monitoring
and diagnostics of power generating equipment"
E-mail: rover.ru@gmail.com

Fetisov Alexander Sergeevich

Orel State University,
Junior Researcher, SEC "Intelligent technologies for
monitoring and diagnostics of power generating
equipment"
E-mail: fetisov57rus@mail.ru

© Шутин Д.В., Фетисов А.С., 2022

А.В. КОРНАЕВ, С.Д. АНТОНОВ, К.К. НАСТЕПАНИН

УТОЧНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ДЕФЕКТЕ ИЗОЛЯЦИИ

Аннотация: В статье рассмотрены процессы формирования частичных разрядов в газовом включении в слое изоляционного материала расположенной между двумя проводниками. Уточнено математическое описание процессов изменения напряжения на дефектном участке. Рассмотрено влияние свободных зарядов на характеристики частичных разрядов.

Ключевые слова: частичный разряд; дефект изоляции; искровые разряды; емкостная модель дефекта изоляции; характеристики частичных разрядов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Conformity assessment. - Текст: электронный // International Electrotechnical Commission: [сайт]. - URL: <https://www.iec.ch> (дата обращения: 22.05.2022).
2. Вдовико В.П. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования. – новосибирск: наука, 2007.
3. Андреев А. М. Методы испытаний диэлектриков. Измерение характеристик частичных разрядов в электрической изоляции: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки магистров «техническая физика». СПбгпу, 2014.
4. Ван Брант Р. «Физика и химия частичных разрядов и короны: последние достижения и будущие последствия». – уайтхедовские чтения. – 1994.
5. E. Kuffel, W.S. Zaengl and J. Kuffel “high-voltage engineering: fundamentals.” *Butterworth-heinemann*, 2000.
6. Андреев А. М. Методы испытаний диэлектриков. Измерение характеристик частичных разрядов в электрической изоляции: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки магистров «техническая физика». СПбгпу, 2014.
7. Дмитриевский В.С. О минимуме напряжения начала ионизации в газовом включении. – известия томского политехнического института. – т. 204. – 1971. – с. 9–13.
8. Исмагилов Ф.Р., Максудов Д.В. Математическое моделирование развития частичных разрядов в процессе старения диэлектрика. – вестник угату. – № 3. – 2011. – с. 98–100.
9. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях / Г.С. Кучинский. - л.: «энергия». Ленингр. Отд-ние., 1979. - 224 с.
10. Русов В. А. Измерение частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования. Екатеринбург, ургрупс, 2011.
11. T. Alisoy, h. Z. Alisoy, andm. Koseoglu, “calculation of electrical field of spherical And cylindrical gas voids in dielectrics by taking surface conductivity into consideration,” *The international journal for computation and mathematics in electrical And electronic engineering, compel*, vol. 24, no. 4, pp. 1152–1163, 2005.

Корнаев Алексей Валерьевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Д.т.н., доцент кафедры мехатроники, механики и
робототехники
E-mail: rusakor@inbox.ru

Антонов Сергей Дмитриевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Аспирант направления «Машиностроение»
89536288935
E-mail: Grad5771rus@gmail.com

Настепанин Кирилл Константинович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Студент кафедры мехатроники,
механики и робототехники
E-mail: nastepanin02@mail.ru

A.V. KORNAEV, S.D. ANTONOV, K.K. NASTEPANIN

REFINED MATHEMATICAL MODEL OF DEVELOPMENT OF PRIVATE DISCHARGE IN INSULATION DEFECT

Abstract: The article considers the processes of formation of partial discharges in a gas inclusion in a layer of insulating material located between two conductors. The mathematical description of the processes of voltage change

in the defective area has been refined. The effect of free charges on the characteristics of partial discharges is considered.

Keywords: *partial discharge; insulation defect; spark discharges; capacitive model of insulation defect; partial discharge characteristics.*

BIBLIOGRAPHY

1. Conformity assessment. - Text: electronic // International Electrical Technical Commission: [website]. - URL: 1. <https://www.iec.ch> (date of access: 05/22/2022).
2. Vdoviko V.P. Partial discharges in the diagnosis of high-voltage equipment. - Novosibirsk: science, 2007.
3. Andreev A. M. Methods of testing dielectrics. Measurement of the characteristics of partial discharges in electrical insulation: a textbook for students of higher educational institutions studying in the direction of master's degree in "technical physics". SPbGPU, 2014.
4. Van Brunt R. "Physics and Chemistry of Partial Discharges and Corona: Recent Advances and Future Implications". - Whitehead Readings. - 1994.
5. E. Kuffel, W.S. Zaengl and J. Kuffel "high-voltage engineering: fundamentals." Butterworth-heinemann, 2000.
6. Andreev A. M. Methods of testing dielectrics. Measurement of the characteristics of partial discharges in electrical insulation: a textbook for students of higher educational institutions studying in the direction of master's degree in "technical physics". SPbGPU, 2014.
7. Dmitrevsky V.S. On the minimum voltage of the beginning of ionization in a gas inclusion. - Bulletin of the Tomsk Polytechnic Institute. - v. 204. - 1971. - p. 9–13.
8. Ismagilov F.R., Maksudov D.V. Mathematical modeling of the development of partial discharges in the process of dielectric aging. - the messenger of ugatu. - No. 3. - 2011. - p. 98–100.
9. Kuchinsky G.S. Partial discharges in high-voltage structures / G.S. Kuchinsky. - L.: "energy". Leningrad. Department., 1979. - 224 p.
10. Rusov V. A. Measurement of partial discharges in the insulation of high-voltage equipment. Yekaterinburg, Urgups, 2011.
11. T. Alisoy, H. Z. Alisoy, and M. Koseoglu, "calculation of electrical field of spherical And cylindrical gas voids in dielectrics by taking surface conductivity into consideration," The international journal for computation and mathematics in electrical And electronic engineering, compel, vol. 24, no. 4, pp. 1152–1163, 2005.

Kornaev Alexey Valerievich

Orel State University,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the
Department of Mechatronics, Mechanics and Robotics
E-mail: rusakor@inbox.ru

Antonov Sergey Dmitrievich

Orel State University,
Postgraduate student
E-mail: Grad5771rus@gmail.com

Nastepanin Kirill Konstantinovich

Orel State University,
Student
E-mail: nastepanin02@mail.ru

© Корнаев А.В., Антонов С.Д., Настепанин К.К., 2022

ПРИБОРЫ, БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.892

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-353-3-110-117

М.А. ПЛАХОТНИКОВА, Е.А. ЕФРЕМОВА, Н.Н. ЛЫСЯННИКОВА

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМА ТЕРМООКИСЛЕНИЯ АВИАЦИОННОГО МАСЛА

Аннотация. В статье представлены результаты исследования процессов окисления, испарения и температурных преобразований в авиационном масле в температурном интервале от 170 до 190 °С. Описана методика исследования авиационного масла на термоокислительную стабильность, включающая применение испытательных и контрольных приборов, таких как устройство для термостатирования масел, фотометр для прямого фотометрирования окисленных масел, вискозиметр и электронные весы. Определены скорости приращения процессов окисления, испарения и температурных преобразований, учитывающих совместные действия процессов окисления и испарения от времени и температуры термостатирования, а также критические температуры этих процессов. В результате проведения экспериментов установлено влияние процессов окисления на вязкостные свойства авиационного масла. Предложена графо-аналитическая модель, позволяющая определить критическую температуру процессов окисления по коэффициенту термоокислительной стабильности.

Ключевые слова: авиационное масло, испаряемость, коэффициент термоокислительной стабильности, вязкость, индекс вязкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов, В.Ф. Масла, смазки и специальные жидкости. / В.Ф. Данилов, А.Н. Литвиненко, М.М. Ахсанов, Р.М. Тимербаев. – Елабуга: из-во филиала К(П)ФУ, 2013. – 216 с.
2. Яновский, Л.С. Основы химмотологии: учебник / Л.С. Яновский, А.А. Харин В.И. Бабкин. – М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. – 482 с.
3. Коняев, Е.А. Авиационные горюче-смазочные материалы: учебное пособие. / Е.А. Коняев, М.Л. Немчиков – М.: МГТУГА, 2013. – 80 с.
4. Пат. 2274850 Российская Федерация, МПК G 01 N 25/02. Способ определения термоокислительной стабильности смазочных материалов / Ковальский Б.И., Васильев С.И., Безбородов Ю.Н., Гаврилов В.В.; заявитель и патентообладатель КГТУ. – № 2004126304/28; заявл. 30.08.2004; опубл. 20.04.2006. Бюл. №11. – 7с.
5. Пат. 2627562 Российская Федерация, МПК G 01 N 25/02. Способ определения термоокислительной стойкости смазочных материалов / Ковальский Б.И., Сокольников А.Н., Ермилов Е.А., Балясников В.А., Батов Н.С.; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». – № 2016127325; заявл. 06.07.2016; опубл. 08.08.2017. Бюл. №22. – 15 с.
6. Плахотникова, М.А. Анализ методов контроля термоокислительной стабильности авиационных масел / М.А. Плахотникова, Н.Н. Лысянникова // Проспект Свободный – 2021: Материалы XVII междунар. конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Красноярск: СФУ. – 2021. – С. 3179-3180.
7. Плахотникова, М.А. Термоокислительная стабильность как показатель качества эксплуатационных свойств авиационных масел / М.А. Плахотникова, Н.Н. Лысянникова // Материалы V Международной научно-практической конференции. Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы. – Кемерово: КузГТУ. – 2021. – С. 98-100.
8. Пат. 2722119 Российская Федерация, МПК G 01 N 25/02. Способ определения температуры начала изменения показателей термоокислительной стабильности и предельной температуры работоспособности смазочных материалов / Ковальский Б.И., Лысянникова Н.Н.; заявитель и патентообладатель ФГАО ВО «Сибирский федеральный университет». – № 2019139741; заявл. 04.12.2019; опубл. 26.05.2020. Бюл. №15. – 16с.
9. Пат. 2685582 Российская Федерация, МПК G 01 N 25/02. Метод определения термоокислительной и температурной стабильности смазочных материалов / Ковальский Б.И., Безбородов Ю.Н., Петров О.Н., Ефремова Е.А.; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». – № 2018127132; заявл. 23.07.2018; опубл. 22.04.2019. Бюл. №12. – 15 с.
10. Ковальский, Б.И. Система методов контроля смазочных материалов / Б.И. Ковальский, В.Г. Шрам, Е.Г. Кравцова, Н.Н. Малышева // Промышленный сервис. – 2013. – №2 (47). – С. 17–20.
11. Ковальский, Б.И. Малогабаритный вискозиметр для определения кинематической вязкости жидких смазочных материалов / Б.И. Ковальский, О.Н. Петров, В.Г. Шрам, М.Н. Артемов // Химия и технология топлив и масел. – 2015. – Т 51. – С. 325 – 329.
12. Пат. 2695704 Российская Федерация, МПК G 01 N 33/30. Способ прогнозирования показателей термоокислительной стабильности смазочных материалов / Ковальский Б.И., Петров О.Н., Шрам В.Г., Лысянникова Н.Н.; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». – № 2019112379; заявл. 23.04.2019; опубл. 25.07.2019. Бюл. №21. – 13 с.

Плахотникова Марина Анатольевна
ФГАОУ ВО «СФУ», ИНИГ, г. Красноярск
старший преподаватель кафедры
«Авиационные горюче-смазочные материалы»
660041, г. Красноярск, пр. Свободный 82/6
Тел. 8-950-980-70-04
E-mail: plaxmarina@yandex.ru

Ефремова Елена Александровна
ФГАОУ ВО «СФУ», ИНИГ, г. Красноярск
ассистент кафедры
«Топливообеспечение и горюче-смазочные материалы»
660041, г. Красноярск, пр. Свободный 82/6
Тел. 8-902-961-91-97
E-mail: efremova059@gmail.ru

Лысянникова Наталья Николаевна
ФГАОУ ВО «СФУ», ИНИГ, г. Красноярск
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Топливообеспечение и горюче-смазочные материалы»
660041, г. Красноярск, пр. Свободный 82/6
Тел. 8-913-190-57-79
E-mail: natalya.nm@mail.ru

M.A. PLAKHOTNIKOVA, E.A. EFREMOVA, N.N. LYSYANNIKOVA

RESULTS OF THE STUDY OF THE MECHANISM OF THERMAL OXIDATION OF AVIATION OIL

Abstract. *The article presents the results of a study of the processes of oxidation, evaporation and temperature transformations in aviation oil in the temperature range from 170 to 190 °C. Method of research of aviation oil for thermal-oxidative stability is described, including the use of test and control devices, such as a device for thermostating oils, a photometer for direct electrophoresis of oxidized oils, a viscometer and electronic scales. The incremental rates of oxidation, evaporation and temperature transformation processes are determined, taking into account the combined effects of oxidation and evaporation processes on the time and temperature of thermostating, as well as the critical temperatures of these processes. As a result of the experiments, the influence of oxidation processes on the viscosity properties of aviation oil was established. A graphic-analytical model is proposed that allows determining the critical temperature of the oxidation and evaporation processes by the coefficient of thermal-oxidative stability.*

Keywords: *aviation oil, volatility, thermo-oxidative stability coefficient, viscosity, viscosity index.*

BIBLIOGRAPHY

1. Danilov, V.F. Masla, smazki i spetsial'nyye zhidkosti. / V.F. Danilov, A.N. Litvinenko, M.M. Akhsanov, R.M. Timerbayev. – Yelabuga: iz-vol filiala K(P)FU, 2013. – 216 s.
2. Yanovskiy L.S. Osnovy khimmotologii: uchebnik / L.S. Yanovskiy, A.A. Kharin V.I. Babkin. – M.-Berlin: Direkt-Media, 2016. – 482 s.
3. Konyayev, Ye.A. Aviatsionnyye goryuche-smazochnyye materialy: uchebnoye posobiye. / Ye.A. Konyayev, M.L. Nemchikov – M.: MGTUGA, 2013. – 80 s.
4. Pat. 2274850 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G 01 N 25/02. Sposoby opredeleniya termookislitel'noy ustoychivosti smazochnykh materialov / Koval'skiy B.I., Vasil'yev S.I., Bezborodov YU.N., Gavrilov V.V.; zayavitel' i patentoobladatel' KGTU. – № 2004126304/28; zayavl. 30.08.2004; opubl. 20.04.2006. Byul. №11. – 7 s.
5. Pat. 2627562 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G 01 N 25/02. Sposoby opredeleniya termookislitel'noy stoykosti materialov k smazke / Koval'skiy B.I., Sokol'nikov A.N., Yermilov Ye.A., Balyasnikov V.A., Batov N.S.; zayavitel' i patentoobladatel' FGAOU VO «Sibirskiy federal'nyy universitet». – № 2016127325; zayavl. 06.07.2016; opubl. 08.08.2017. Byul. №22. – 15 s.
6. Plakhotnikova, M.A. Analiz metodov kontrolya termookislitel'noy ustoychivosti aviatsionnykh masel / M.A. Plakhotnikova, N.N. Lysyannikova // Prospekt Svobodnyy – 2021: Materialy XVII mezhdunar. konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. – Krasnoyarsk: SFU. – 2021. – S. 3179-3180.
7. Plakhotnikova, M.A. Termookislitel'naya stabil'nost' kak pokazatel' kachestva ekspluatatsionnykh svoystv aviatsionnykh masel / M.A. Plakhotnikova, N.N. Lysyannikova // Materialy V mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Voprosy sovremennoy nauki: problemy, perspektivy i perspektivy. – Kemerovo: KuzGTU. – 2021. – S. 98-100.
8. Pat. 2722119 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G 01 N 25/02. Sposoby opredeleniya temperatury nachala izmeneniya pokazateley termookislitel'noy ustoychivosti i predel'noy temperatury rabotosposobnosti smazochnykh materialov / Koval'skiy B.I., Lysyannikova N.N.; zayavitel' i patentoobladatel' FGAOU VO «Sibirskiy federal'nyy universitet». – № 2019139741; zayavl. 04.12.2019; opubl. 26.05.2020. Byul. №15. – 16 s.
9. Pat. 2685582 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G 01 N 25/02. Metod opredeleniya termookislitel'noy i temperaturnoy ustoychivosti smazochnykh materialov / Koval'skiy B.I., Bezborodov YU.N., Petrov O.N., Yefremova Ye.A.; zayavitel' i patentoobladatel' FGAOU VO «Sibirskiy federal'nyy universitet». – № 2018127132; zayavl. 23.07.2018; opubl. 22.04.2019. Byul. №12. – 15 s.
10. Koval'skiy, B.I. Sistema metodov kontrolya smazochnykh materialov / B.I. Koval'skiy, V.G. Shram, Ye.G. Kravtsova, N.N. Malysheva // Promyshlennyy servis. – 2013. – №2 (47). – S. 17–20.

11. Koval'skiy, B.I. Malogabaritnyy viskozimetr dlya opredeleniya kinematicheskoy vyazkosti zhidkikh smazochnykh materialov / B.I. Koval'skiy, O.N. Petrov, V.G. Shram, M.N. Artemov // Khimiya i tekhnologiya topliv i masel. – 2015. – T 51. – S. 325 – 329.

12. Pat. 2695704 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G 01 N 33/30. Sposob prognozirovaniya pokazateley termookislitel'noy ustoychivosti materialov Koval'skiy B.I., Petrov O.N., Shram V.G., Lysyannikova N.N.; zayavitel' i patentoobladatel' FGAOU VO «Sibirskiy federal'nyy universitet». – № 2019112379; zayavl. 23.04.2019; opubl. 25.07.2019. Byul. №21. – 13 s.

Plakhotnikova Marina Anatolyevna

Siberian Federal University, Institute
of Oil and Gas, Krasnoyarsk
Senior lecturer of the Department
«Aviation fuels and lubricants»
660041, Krasnoyarsk, 82/6 Svobodny pr., Russia
Ph.: 8-950-980-70-04
E-mail: plaxmarina@yandex.ru

Efremova Elena Aleksandrovna

Siberian Federal University, Institute
of Oil and Gas, Krasnoyarsk
Assistant of the Department
«Fuel supply and fuel and lubricants»
660041, Krasnoyarsk, 82/6 Svobodny pr., Russia
Ph.: 8-902-961-91-97
E-mail: efremova059@gmail.ru

Lysyannikova Natalia Nikolaevna

Siberian Federal University, Institute
of Oil and Gas, Krasnoyarsk
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of
the Department
«Fuel supply and fuel and lubricants»
660041, Krasnoyarsk, 82/6 Svobodny pr., Russia
Ph.: 8-913-190-57-79
E-mail: nataly.nm@mail.ru

© Плахотникова М.А., Ефремова Е.А., Лысянникова Н.Н., 2022

О.А. СТЕЛЬМАЩУК, В.В. ШУПЛЕЦОВ, Е.А. ЖЕРЕБЦОВ

ТЕХНОЛОГИЯ ТРАНСКУТАННОЙ ОЦЕНКИ АКТИВНОСТИ МОНОАМИНОКСИДАЗ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ

Аннотация. В данной работе описаны возможности методов транскутанной регистрации интенсивности и времени жизни флуоресценции ФАД для дальнейшей оценки активности МАО. В ходе исследования была апробирована новая методика, позволяющая получать диагностическую информацию о метаболическом состоянии клеток ткани в режиме реального времени и описано устройство для диагностики активности МАО, основанное на совместном применении методов флуоресцентной спектроскопии и времени жизни флуоресценции, и. Описаны технические детали реализации измерения времени жизни флуоресценции и диффузного отражения системой в исследуемых тканях добровольцев.

Ключевые слова: время жизни флуоресценции, моноаминоксидаза, митохондрии, диагностика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kandurova K. et al. Fiber-optic system for intraoperative study of abdominal organs during minimally invasive surgical interventions // Appl. Sci. 2019. Vol. 9, № 2. P. 217.
2. Becker W. Fluorescence lifetime imaging - techniques and applications // Journal of Microscopy. 2012. Vol. 247, № 2. 119–155 p.
3. Becker W. The bh TCSPC Handbook // Scanning. 2010. 768 p.
4. Niesner R. et al. Selective Detection of NADPH Oxidase in Polymorphonuclear Cells by Means of NAD(P)H-Based Fluorescence Lifetime Imaging // J. Biophys. 2008. Vol. 2008. P. 13.
5. Datta R. et al. Fluorescence lifetime imaging microscopy: fundamentals and advances in instrumentation, analysis, and applications // J. Biomed. Opt. 2020. Vol. 25, № 7. P. 071203.
6. Nakashima N. et al. Picosecond fluorescence lifetime of the coenzyme of D-amino acid oxidase. // J. Biol. Chem. 1980. Vol. 255, № 11. P. 5261–5263.
7. Rück A. et al. SLIM: A new method for molecular imaging // Microsc. Res. Tech. 2007. Vol. 70, № 5. P. 485–492.
8. Anderson R.R., Parrish J.A. The Optics of Human Skin // J. Invest. Dermatol. 1981. Vol. 77, № 1. P. 13–19.
9. Stelmashchuk O. et al. Noninvasive control of the transport function of fluorescent coloured liposomal nanoparticles // Laser Phys. Lett. 2017. Vol. 14, № 6.
10. Tarakanchikova Y. et al. Allocation of rhodamine-loaded nanocapsules from blood circulatory system to adjacent tissues assessed in vivo by fluorescence spectroscopy // Laser Phys. Lett. 2018. Vol. 15, № 10.
11. Becker W. Advanced time-correlated single photon counting techniques // Springer Ser. Chem. Phys. 2005. Vol. 81.
12. Angelova P.R., Abramov A.Y. Role of mitochondrial ROS in the brain: from physiology to neurodegeneration // FEBS Lett. 2018. Vol. 592, № 5. P. 692–702.
13. Ubbink R. et al. Mitochondrial oxygen monitoring with COMET: verification of calibration in man and comparison with vascular occlusion tests in healthy volunteers // J. Clin. Monit. Comput. 2020. Vol. 35, № 6. P. 1357–1366.
14. Lunt S.Y., Vander Heiden M.G. Aerobic glycolysis: Meeting the metabolic requirements of cell proliferation // Annu. Rev. Cell Dev. Biol. 2011. Vol. 27. P. 441–464.
15. Di Stasi S.M. et al. The stability of lidocaine and epinephrine solutions exposed to electric current and comparative administration rates of the two drugs into pig bladder wall // Urol. Res. Springer, 2003. Vol. 31, № 3. P. 169–176.

Стельмашук Ольга Андреевна

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орел,
аспирант кафедры Приборостроение, метрология и сертификация, младший научный сотрудник
лаборатории клеточной физиологии и патологии
научно-технологического центра биомедицинской фотоники
Россия, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
E-mail: o.a.stelmashuk@gmail.com

Шуплецов Валерий Витальевич

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орел,
аспирант кафедры Приборостроение, метрология и сертификация, стажер-исследователь научно-технологического центра биомедицинской фотоники
Россия, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
E-mail: matoka_97@mail.ru

Жеребцов Евгений Андреевич

Орловский государственный университет имени И.С.

Тургенева, г. Орел,

старший научный сотрудник научно-технологического
центра биомедицинской фотоники

Россия, г. Орел, ул. Комсомольская, 95

E-mail: zherebzow@gmail.com

O.A. STELMASHCHUK, V.V. SHUPLETSOV, E.A. ZHEREBTSOV

NOVEL TECHNIQUE FOR TRANSCUTANEOUS ASSESSMENT OF MONOAMINE OXIDASE ACTIVITY BASED ON THE ANALYSIS OF SKIN FLUORESCENCE PARAMETERS

Abstract. *This paper describes the possibilities of transcutaneous recording of the intensity and lifetime of fluorescence of FAD for further assessment of MAO activity. In the course of the study, a new technique was tested and a device for diagnosing MAO activity was described, based on the combined use of fluorescence spectroscopy and lifetime fluorescence methods, which allows obtaining diagnostic information about the metabolic state of tissue cells in real time. Here we describe the technical details of the implementation of the measurement of the lifetime of fluorescence and diffuse reflection by the system in the skin of volunteers.*

Keywords: *fluorescence lifetime, monoamine oxidase, mitochondria, diagnostics*

BIBLIOGRAPHY

1. Kandurova K. et al. Fiber-optic system for intraoperative study of abdominal organs during minimally invasive surgical interventions // Appl. Sci. 2019. Vol. 9, № 2. P. 217.
2. Becker W. Fluorescence lifetime imaging - techniques and applications // Journal of Microscopy. 2012. Vol. 247, № 2. 119–155 p.
3. Becker W. The bh TCSPC Handbook // Scanning. 2010. 768 p.
4. Niesner R. et al. Selective Detection of NADPH Oxidase in Polymorphonuclear Cells by Means of NAD(P)H-Based Fluorescence Lifetime Imaging // J. Biophys. 2008. Vol. 2008. P. 13.
5. Datta R. et al. Fluorescence lifetime imaging microscopy: fundamentals and advances in instrumentation, analysis, and applications // J. Biomed. Opt. 2020. Vol. 25, № 7. P. 071203.
6. Nakashima N. et al. Picosecond fluorescence lifetime of the coenzyme of D-amino acid oxidase. // J. Biol. Chem. 1980. Vol. 255, № 11. P. 5261–5263.
7. Rück A. et al. SLIM: A new method for molecular imaging // Microsc. Res. Tech. 2007. Vol. 70, № 5. P. 485–492.
8. Anderson R.R., Parrish J.A. The Optics of Human Skin // J. Invest. Dermatol. 1981. Vol. 77, № 1. P. 13–19.
9. Stelmashchuk O. et al. Noninvasive control of the transport function of fluorescent coloured liposomal nanoparticles // Laser Phys. Lett. 2017. Vol. 14, № 6.
10. Tarakanchikova Y. et al. Allocation of rhodamine-loaded nanocapsules from blood circulatory system to adjacent tissues assessed in vivo by fluorescence spectroscopy // Laser Phys. Lett. 2018. Vol. 15, № 10.
11. Becker W. Advanced time-correlated single photon counting techniques // Springer Ser. Chem. Phys. 2005. Vol. 81.
12. Angelova P.R., Abramov A.Y. Role of mitochondrial ROS in the brain: from physiology to neurodegeneration // FEBS Lett. 2018. Vol. 592, № 5. P. 692–702.
13. Ubbink R. et al. Mitochondrial oxygen monitoring with COMET: verification of calibration in man and comparison with vascular occlusion tests in healthy volunteers // J. Clin. Monit. Comput. 2020. Vol. 35, № 6. P. 1357–1366.
14. Lunt S.Y., Vander Heiden M.G. Aerobic glycolysis: Meeting the metabolic requirements of cell proliferation // Annu. Rev. Cell Dev. Biol. 2011. Vol. 27. P. 441–464.
15. Di Stasi S.M. et al. The stability of lidocaine and epinephrine solutions exposed to electric current and comparative administration rates of the two drugs into pig bladder wall // Urol. Res. Springer, 2003. Vol. 31, № 3. P. 169–176.

Stelmashchuk Olga Andreevna

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel,
PhD Student, Department of Instrument Engineering, Metrology
and Certification, Junior Researcher, Laboratory of Cell
Physiology and Pathology, Scientific and Technological Center
for Biomedical Photonics
Russia, Orel, st. Komsomolskaya, 95
E-mail: o.a.stelmashuk@gmail.com

Shupletsov Valery Vitalievich

Orel State University named after I.S. Turgenev,
Orel,
postgraduate student of the Department of
Instrument Engineering, Metrology and
Certification, trainee researcher of the Scientific
and Technological Center for Biomedical
Photonics
Russia, Orel, st. Komsomolskaya, 95
E-mail: matoka_97@mail.ru

Zherebtsov Evgeny Andreevich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel,
Senior Researcher, Science and Technology Center for
Biomedical Photonics
Russia, Orel, st. Komsomolskaya, 95
E-mail: zherebzow@gmail.com

© Стельмашук О.А., Шуплецов В.В., Жеребцов Е.А., 2022

А.И. ДОЛГИХ, О.А. СТЕЛЬМАЩУК, Е.А. ЖЕРЕБЦОВ

РЕГИСТРАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАТОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КЛЕТОК ПРИ НЕЙРОДЕГЕНЕРАТИВНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ

Аннотация. Работа посвящена возможности применения метода времени жизни флуоресценции для оценки патологического состояния клеток при нейродегенеративных состояниях с целью ранней диагностики и своевременного лечения данных заболеваний. Параметры продолжительности жизни флуоресценции эндогенного флуорофора НАДН в клеточной культуре 20-дневных фибробластов с мутацией в гене *PINK1* измеряли с помощью камеры *rsco.flim FLIM* с ультрафиолетовым лазером (375 нм/10 мВт) и амплитудной модуляцией на частоте 40 МГц. Выявленные статистические различия показывают перспективность оценки клеточного метаболизма с использованием данного метода для последующей своевременной диагностики болезни Паркинсона. Данный подход в последующем может позволить получать более подробную информацию о различных биохимических процессах в клетках в динамике, а также станет основой для ранней диагностики заболеваний.

Ключевые слова: оптическая диагностика, флуоресценция времени жизни, НАДН, болезнь Паркинсона, *PINK1*, фибробласты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Becker W. Advanced time-correlated single photon counting techniques [Text] / Springer Science & Business Media // 2005. – Vol. 81. – P. 168-189
2. Becker W. et al. Metabolic imaging by simultaneous FLIM of NAD (P) H and FAD // Multiphoton Microscopy in the Biomedical Sciences XIX. – SPIE, 2019. – T. 10882. – С. 34-41.
3. Кандурова К.Ю. Использование спектроскопических методов в диагностике новообразований печени [Текст] / К.Ю. Кандурова, В.В. Шуплецов // XVII Всероссийский молодежный Самарский конкурс-конференция научных работ по оптике и лазерной физике. – 2019. – С. 286-293.
4. Sun Y. H. Fluorescence lifetime imaging microscopy for brain tumor image-guided surgery [Text] / Y.H. Sun, N. Hatami, M. Yee, J.E. Phipps, D.S. Elson, F. Gorin, R.J. Schrot, L. Marcu // Journal of biomedical optics. – 2010. – Vol. 15. – №. 5. – P. 056022.
5. Горяйнов С. А. Флуоресцентная диагностика и лазерная биоспектроскопия как один из методов мультимодальной нейронавигации в нейрохирургии [Текст] / С.А. Горяйнов, А.А. Потапов, Д.А. Гольбин, П.В. Зеленков, Г.Л. Кобяков, А.Г. Гаврилов, В.А. Охлопков, В.А. Шурхай, Е.В. Шелеско, В.Ю. Жуков, В.Б. Лощенов, Т.А. Савельева, С.Г. Кузьмин // Вопросы нейрохирургии им. НН Бурденко. – 2012. – Т. 76. – №. 6. – С. 57-65.
6. Chorvatova A. Tissue uorophores and their spectroscopic characteristics [Text] / A. Chorvatova, D. Chorvat // Fluorescence lifetime spectroscopy and imaging. – CRC Press. – 2014. – P. 64-103.
7. Suhling K. Fluorescence lifetime imaging (FLIM): Basic concepts and some recent developments [Text] / K. Suhling, L.M. Hirvonena, J.A. Levitt, P. Chung, C. Tregidgo, A. Marois, Dm.A. Rusakov, K. Zheng, S. Ameer-Beg // Medical Photonics. – 2015. – Vol. 27. – P. 3-40.
8. Щеславский В. Люминесцентная микроскопия на основе многопараметрического время-коррелированного счета фотонов [Текст] / В. И. Щеславский, М. В. Ширманова, А. Ельцов, И В. Беккер // Успехи биологической химии. – 2019. – №. 59. – С. 103.
9. Ho A. H. P. Handbook of photonics for biomedical engineering [Text] / A.H.P. Ho, D. Kim, M. G. Somekh // Springer Netherlands. – 2017.
10. Jones P. B. Biomedical FRET–FLIM applications [Text] / P.B. Jones, J.Bacska, B. T.Hyman // Laboratory Techniques in Biochemistry and Molecular Biology. – 2009. – Vol. 33. – P. 447-474.
11. Sanderson M. J. Fluorescence Microscopy [Text] / M.J. Sanderson, I. Smith, I. Parker, M.D. Bootman // Cold Spring Harbor Protocols. – 2014. – Vol. 10. – P. 36.
12. Cassimeris L. Lewin's cells [Text] / L. Cassimeris, G. Plopper, V. R. Lingappa // Jones & Bartlett Publishers. – 2011.
13. Zherebtsov E. Machine learning aided photonic diagnostic system for minimally invasive optically guided surgery in the hepatoduodenal area [Text] / E. Zherebtsov, M. Zainulina, K. Kandurova, E. Potapova, V. Dremine, A. Mamoshin, S. Sokolovski, A. Dunaev, E. U. Rafailov // Diagnostics. – 2020. – Vol. 10. – №. 11. – P. 873.
14. Lukina M. M. Metabolic imaging for the study of oncological processes [Text] / M.M. Lukina, M.V. Shirmanova, T.F. Sergeeva, E.V. Zagaynova // Sovremennye tekhnologii v meditsine. – 2016. – Vol. 8. – №. 4. – P. 113.
15. Chaturvedi R. K. Mitochondrial diseases of the brain [Text] / R.K. Chaturvedi, M.F. Beal // Free Radical Biology and Medicine. – 2013. – Vol. 63. – P. 1-29.

16. Gandhi S. PINK1-associated Parkinson's disease is caused by neuronal vulnerability to calcium-induced cell death [Text] / S. Gandhi, A. Wood-Kaczmar, Z. Yao, H. Plun-Favreau, E. Deas, K. Klupsch, J. Downward, D.S. Latchman, S.J. Tabrizi, N.W. Wood, M.R. Duchen, A.Y. Abramov // Molecular Cell. – Vol. 33. – №. 5. – P. 627-638.
17. Tanner P. W. S. K. Parkinson disease [Text] / P. W. S. K. Tanner, W. Poewe, K. Seppi, C. M. Tanner, G.M. Halliday, P. Brundin, J. Volkman // Nat Rev Dis Primers. – 2017. – Vol. 3. – №. 17013. – P. 10.1038.
18. Berezhnov A. V. Intracellular pH modulates autophagy and mitophagy [Text] / A.V. Berezhnov, M.P.M. Soutar, E.I. Fedotova, H. Plun-Favreau, V.P. Zinchenko, A.Y. Abramov // Journal of Biological Chemistry. – 2016. – Vol. 291. – №. 16. – P. 8701-8708.
19. Angelova P. R. Mitochondria and lipid peroxidation in the mechanism of neurodegeneration: Finding ways for prevention [Text] / P.R. Angelova, N. Esteras, A.Y. Abramov // Medicinal Research Reviews. – 2021. – Vol. 41. – №. 2. – P. 770-784.
20. Angeletos G. M. Uninsured idiosyncratic investment risk and aggregate saving [Text] // Review of Economic dynamics. – 2007. – Vol. 10. – №. 1. – P. 1-30.
21. Przedborski S. Neurodegeneration [Text] // Neuroimmune Pharmacology. – Springer. – 2017. – P. 345-354.
22. Маскевич А. А. Комплекс аппаратных и программных средств для исследования кинетики затухания флуоресценции [Текст] // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 2. Матэматыка. Фізіка. Інфарматыка, вылічальная тэхніка і кіраванне. – 2013. – №. 3. – С. 107.
23. Bartolomé F. Measurement of mitochondrial NADH and FAD autofluorescence in live cells [Text] / F. Bartolomé, A.Y. Abramov // Mitochondrial Medicine. – Humana Press, New York, NY, 2015. – P. 263-270.
24. Wood-Kaczmar A. PINK1 is necessary for long term survival and mitochondrial function in human dopaminergic neurons [Text] / A. Wood-Kaczmar, S. Gandhi, Z.Yao, A.S.Y. Abramov, E.A. Miljan, G. Keen, L. Stanter, I. Hargreaves, K. Klupsch, E. Deas, J. Downward, L. Mansfield // PloS one. – 2008. – Vol. 3. – №. 6. – P. 2455.

Долгих Ангелина Игоревна
Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева,
г. Орел, стажер-исследователь
лаборатории клеточной
физиологии и патологии научно-
технологического центра
биомедицинской фотоники Россия,
г. Орел, ул. Комсомольская, 95
E-mail: dolgikhanig@mail.ru

Стельмашук Ольга Андреевна
Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева,
г. Орел,
младший научный сотрудник
лаборатории клеточной
физиологии и патологии научно-
технологического центра
биомедицинской фотоники
Россия, г. Орел, ул.
Комсомольская, 95
E-mail: o.a.stelmashuk@gmail.com

Жеребцов Евгений Андреевич
Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева,
г. Орел,
старший научный сотрудник
научно-технологического центра
биомедицинской фотоники
Россия, г. Орел, ул.
Комсомольская, 95
E-mail: zherebzw@gmail.com

O.A. STELMASHCHUK, A.I. DOLGIKH, E.A. ZHEREBTSOV

USE OF FLUORESCENCE LIFETIME TO ASSESS THE PATHOLOGICAL STATE OF CELLS IN NEURODEGENERATIVE DISEASES

Abstract. The paper is devoted to the possibility of applying of fluorescence lifetime method for the evaluation of the pathological state of cells in neurodegenerative diseases for the purpose of early diagnostics and early treatment of these diseases. Lifetime parameters of endogenous NADH fluorophore fluorescence in cell culture of 20-day-old fibroblasts with a mutation in the PINK 1 gene were measured by pco.flim FLIM camera with ultraviolet laser (375 nm/10 MW) and amplitude modulation at 40 MHz. The identified statistical differences show the promise of assessing cellular metabolism using this method for the subsequent timely diagnosis of Parkinson's disease. This approach may subsequently allow obtaining more detailed information about various biochemical processes in cells in the dynamics and become the basis for early disease diagnosis.

Keywords: optical diagnosis, lifetime fluorescence, NADH, Parkinson's disease, PINK 1, fibroblasts.

BIBLIOGRAPHY

1. Becker W. Advanced time-correlated single photon counting techniques [Text] / Springer Science & Business Media // 2005. – Vol. 81. – P. 168-189
2. Becker W. et al. Metabolic imaging by simultaneous FLIM of NAD (P) H and FAD //Multiphoton Microscopy in the Biomedical Sciences XIX. – SPIE, 2019. – T. 10882. – C. 34-41.
3. Kandurova K.Yu. Ispol'zovanie spektroskopicheskikh metodov v diagnostike novoobrazovaniy pecheni [Tekst] / K.Yu. Kandurova, V.V. Shuplecov // XVII Vserossiyskiy molodezhnyy Samarskiy konkurs-konferenciya nauchnykh rabot po optike i lazernoj fizike. – 2019. – S. 286-293.
4. Sun Y. H. Fluorescence lifetime imaging microscopy for brain tumor image-guided surgery [Text] / Y.H. Sun, N. Hatami, M. Yee, J.E. Phipps, D.S. Elson, F. Gorin, R.J. Schrot, L. Marcu //Journal of biomedical optics. – 2010. – Vol. 15. – №. 5. – P. 056022.
5. Goryainov S. A. Fluorescentnaya diagnostika i lazernaya biospektroskopiya kak odin iz metodov mul'timodal'noj nejronavigacii v nejrohirurgii [Tekst] / S.A. Goryainov, A.A. Potapov, D.A. Gol'bin, P.V. Zelenkov,

- G.L. Kobayakov, A.G. Gavrilov, V.A. Ohlopkov, V.A. SHurhaj, E.V. SHelesko, V.YU. ZHukov, V.B. Loshchenov, T.A. Savel'eva, S.G. Kuz'min // *Voprosy neirohirurgii im. N.N. Burdenko*. – 2012. – T. 76. – №. 6. – S. 57-65.
6. Chorvatova A. Tissue uorophores and their spectroscopic characteristics [Text] / A. Chorvatova, D. Chorvat // *Fluorescence lifetime spectroscopy and imaging*. – CRC Press. – 2014. – P. 64-103.
7. Suhling K. Fluorescence lifetime imaging (FLIM): Basic concepts and some recent developments [Text] / K. Suhling, L.M. Hirvonena, J.A. Levitt, P. Chung, C. Tregidgo, A. Marois, Dm.A. Rusakov, K. Zheng, S. Ameer-Beg // *Medical Photonics*. – 2015. – Vol. 27. – P. 3-40.
8. Sheslavskij V. Lyuminescentnaya mikroskopiya na osnove mnogoparametricheskogo vremya-korrelirovannogo scheta fotonov [Tekst] / V. I. SHCHeslavskij, M. V. SHirmanova, A. El'cov, I V. Bekker // *Uspekhi biologicheskoy himii*. – 2019. – №. 59. – S. 103.
9. Ho A. H. P. Handbook of photonics for biomedical engineering [Text] / A.H.P. Ho, D. Kim, M. G. Somekh // Springer Netherlands. – 2017.
10. Jones P. B. Biomedical FRET–FLIM applications [Text] / P.B. Jones, J.Bacska, B. T.Hyman // *Laboratory Techniques in Biochemistry and Molecular Biology*. – 2009. – Vol. 33. – P. 447-474.
11. Sanderson M. J. Fluorescence Microscopy [Text] / M.J. Sanderson, I. Smith, I. Parker, M.D. Bootman // *Cold Spring Harbor Protocols*. – 2014. – Vol. 10. – P. 36.
12. Cassimeris L. Lewin's cells [Text] / L. Cassimeris, G. Plopper, V. R. Lingappa // Jones & Bartlett Publishers. – 2011.
13. Zherebtsov E. Machine learning aided photonic diagnostic system for minimally invasive optically guided surgery in the hepatoduodenal area [Text] / E. Zherebtsov, M. Zajnulina, K. Kandurova, E. Potapova, V. Dremine, A. Mamoshin, S. Sokolovski, A. Dunaev, E. U. Rafailov // *Diagnostics*. – 2020. – Vol. 10. – №. 11. – P. 873.
14. Lukina M. M. Metabolical imaging for the study of oncological processes [Text] / M.M. Lukina, M.V. Shirmanova, T.F. Sergeeva, E.V. Zagaynova // *Sovremennye tekhnologii v meditsine*. – 2016. – Vol. 8. – №. 4. – P. 113.
15. Chaturvedi R. K. Mitochondrial diseases of the brain [Text] / R.K. Chaturvedi, M.F. Beal // *Free Radical Biology and Medicine*. – 2013. – Vol. 63. – P. 1-29.
16. Gandhi S. PINK1-associated Parkinson's disease is caused by neuronal vulnerability to calcium-induced cell death [Text] / S. Gandhi, A. Wood-Kaczmar, Z. Yao, H. Plun-Favreau, E. Deas, K. Klupsch, J. Downward, D.S. Latchman, S.J. Tabrizi, N.W. Wood, M.R. Duchon, A.Y. Abramov // *Molecular Cell*. – Vol. 33. – №. 5. – P. 627-638.
17. Tanner P. W. S. K. Parkinson disease [Text] / P. W. S. K. Tanner, W. Poewe, K. Seppi, C. M. Tanner, G.M. Halliday, P. Brundin, J. Volkman // *Nat Rev Dis Primers*. – 2017. – Vol. 3. – №. 17013. – P. 10.1038.
18. Berezhnov A. V. Intracellular pH modulates autophagy and mitophagy [Text] / A.V. Berezhnov, M.P.M. Soutar, E.I. Fedotova, H. Plun-Favreau, V.P. Zinchenko, A.Y. Abramov // *Journal of Biological Chemistry*. – 2016. – Vol. 291. – №. 16. – P. 8701-8708.
19. Angelova P. R. Mitochondria and lipid peroxidation in the mechanism of neurodegeneration: Finding ways for prevention [Text] / P.R. Angelova, N. Esteras, A.Y. Abramov // *Medicinal Research Reviews*. – 2021. – Vol. 41. – №. 2. – P. 770-784.
20. Angeletos G. M. Uninsured idiosyncratic investment risk and aggregate saving [Text] // *Review of Economic dynamics*. – 2007. – Vol. 10. – №. 1. – P. 1-30.
21. Przedborski S. Neurodegeneration [Text] // *Neuroimmune Pharmacology*. – Springer. – 2017. – P. 345-354.
22. Maskevich A. A. Kompleks apparatnyh i programmnyh sredstv dlya issledovaniya kinetiki zatuhaniya fluorescencii [Tekst] // *Vesnik Grodzenskago dzvarzhaynaga yuniversiteta imya Yanki Kupaly. Serya 2. Matematyka. Fizika. Infarmatyka, vylichal'naya tekhnika i kiravanne*. – 2013. – №. 3. – S. 107.
23. Bartolomé F. Measurement of mitochondrial NADH and FAD autofluorescence in live cells [Text] / F. Bartolomé, A.Y. Abramov // *Mitochondrial Medicine*. – Humana Press, New York, NY, 2015. – P. 263-270.
24. Wood-Kaczmar A. PINK1 is necessary for long term survival and mitochondrial function in human dopaminergic neurons [Text] / A. Wood-Kaczmar, S. Gandhi, Z.Yao, A.S.Y. Abramov, E.A. Miljan, G. Keen, L. Staney, I. Hargreaves, K. Klupsch, E. Deas, J. Downward, L. Mansfield // *PloS one*. – 2008. – Vol. 3. – №. 6. – P. 2455.

Dolgikh Angelina Igorevna

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Research Assistant, Laboratory of Cell Physiology and Pathology, Scientific and Technological Center for Biomedical Photonics Russia, Orel, st. Komsomolskaya, 95
E-mail: dolgikhanig@mail.ru

Stelmashchuk Olga Andreevna

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Junior Researcher, Laboratory of Cell Physiology and Pathology, Scientific and Technological Center for Biomedical Photonics Russia, Orel, st. Komsomolskaya, 95
E-mail: o.a.stelmashuk@gmail.com

Zherebtsov Evgeny Andreevich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Senior Researcher, Science and Technology Center for Biomedical Photonics Russia, Orel, st. Komsomolskaya, 95
E-mail: zherebtzow@gmail.com

© Долгих А.И., Стельмашук О.А., Жеребцов Е.А., 2022

Р.С. ХЛОПОТОВ

АНАЛИЗ ТРЕНДОВ МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАТИКИ

Аннотация. В статье представлены выводы из анализа интенсивно развивающейся области современного здравоохранения – медицинской информатики; охарактеризован опыт применения цифровых технологий в медицине, идентифицированы мировые текущие технологические тренды и представлены результаты прогнозирования их развития в России. Охарактеризована семантика понятия «медицинская информационная система», конкретизированы факторы и тенденции развития медицинских информационных систем. По результатам анализа основных мировых трендов и барьеров развития технологий искусственного интеллекта сформулированы основные условия ускоренного развития технологий искусственного интеллекта медицинского назначения. Оценено отношение общественности к наблюдаемому расширению спектра медицинских услуг, оказываемых в цифровом формате. Показано, что основной характеристикой тенденций в развитии цифровой медицины является пациентоориентированность: результатом цифровой трансформации здравоохранения должно стать укрепление здоровья и повышение качества жизни населения.

Ключевые слова: цифровая медицина, медицинская информатика, цифровое здравоохранение, информационные технологии медицинского назначения, искусственный интеллект, блокчейн-технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семь тенденций в цифровой медицине, которые будут доминировать в 2021 году // Новости и события мира телемедицины, mHealth, медицинских гаджетов и устройств. – URL: <https://evercare.ru/news/7-tendenciya-v-cifrovoy-medicine-kotorye-budut-dominirovat-v-2021-godu>. (дата обращения: 27.03.2022).
2. Анфиногенов, И. Медицинские информационные системы в России: тренды и прогнозы развития МИС на 2021-2024 годы / И. Анфиногенов // Медицинские информационные системы «Archi Med». – URL: <https://archimed.pro/blog/meditsinskie-informatsionnye-sistemy-v-rossii-trendy-i-prognozy-razvitiya-mis-na-2021-2024-gody/>. (дата обращения: 26.03.2022).
3. Гусев А.В. Тренды и прогнозы развития медицинских информационных систем в России / А.В. Гусев, М.А. Плисс, М.Б. Левин, Р.Э. Новицкий // Врач и информационные технологии. 2019. № 2. С. 38-49.
4. Тренды развития искусственного интеллекта в медицине: аналитический обзор // ГБУ «Агентство инноваций города Москвы». – URL: https://innoagency.ru/files/AI_in_Healthcare_AIM_2020.pdf. (дата обращения: 25.03.2022).
5. Стародубов В.И. Оценка уровня информатизации медицинских организаций на этапе создания единого цифрового контура в здравоохранении / В.И. Стародубов, К.В. Сидоров, Т.В. Зарубина // Вестник Росздравнадзора. 2020. № 3. С. 20-27.
6. Пугачев П.С. Мировые тренды цифровой трансформации отрасли здравоохранения / П.С. Пугачев, А.В. Гусев, О.С. Кобякова, Ф.Н. Кадыров, Д.В. Гаврилов, Р.Э. Новицкий, А.В. Владимировский // Национальное здравоохранение. 2021. Т. 2. № 2. С. 5-12.
7. Кобякова О.С. Телемедицинские технологии: перспективы и ограничения / О.С. Кобякова, В.И. Стародубов, Ф.Н. Кадыров, Н.Г. Куракова, А.М. Чилилов // Врач и информационные технологии. 2020. № S5. С. 76-85.
8. Богомолов А.В. Информационные технологии цифровой адаптивной медицины / А.В. Богомолов // Информатика и автоматизация. 2021. Т. 20. № 5. С. 1154-1182.
9. Максимов И.Б. Прикладная теория информационного обеспечения медико-биологических исследований / И.Б. Максимов, В.П. Столяр, А.В. Богомолов. М: Бином, 2013. 311 с.
11. Haux R. Medical informatics: Past, present, future. / Reinhold Haux // International journal of medical informatics. 2010. № 79. P. 599-610.
12. Health information systems // World Health Organization (2008): официальный сайт. – URL: https://www.who.int/whosis/whostat/EN_WHS08_Full.pdf. (дата обращения: 27.03.2022).
13. Мельник, Г. Ю. Медицинские информационные системы и их классификация / Г. Ю. Мельник // Образовательная социальная сеть «nsportal.ru». – URL: <https://nsportal.ru/npo-spo/informatika-i-vychislitel'naya-tehnika/library/2018/06/29/meditsinskie-informatsionnye>. (дата обращения: 27.03.2022).
14. Министерство здравоохранения РФ: сайт. – Москва, 2010. – URL: <https://www.rosminzdrav.ru/documents/7439-metodicheskie-ukazaniya>. (дата обращения: 27.03.2022).
15. Фейламазова С.А. Информационные технологии в медицине: учебное пособие для медицинских колледжей / С.А. Фейламазова. Махачкала: ДБМК, 2016. 163 с. URL: http://window.edu.ru/resource/189/81189/files/Учебное_пособие_по_медицинской_информатике_2016_.PDF. (дата обращения: 27.03.2022).

16. Плащевая Е.В. Медицинские информационные системы: методические указания для самоподготовки студентов; Комсомольск-на-Амуре: АмГМА / Е.В. Плащевая. – URL: https://www.amursma.ru/upload/iblock/825/Medicinskie_informacionnye_sistemy.pdf (дата обращения: 27.03.2022).
17. Лебедев Г.С. Классификация медицинских информационных систем / Г.С. Лебедев, Ю.Ю. Мухин // Транспортное дело России. 2012. № 6-2. С. 98-105.
18. Богомолов А.В. Автоматизация персонифицированного мониторинга условий труда / А.В. Богомолов, Ю.А. Кукушкин // Автоматизация. Современные технологии. 2015. № 3. С. 6-8.
18. Ушаков И.Б. Информатизация программ персонифицированной адаптационной медицины / И.Б. Ушаков, А.В. Богомолов // Вестник Российской академии медицинских наук. 2014. Т. 69. № 5-6. С. 124-128.
19. Голосовский М.С. Алгоритм настройки нечеткого логического вывода в медицинских информационных системах, основанных на знаниях / М.С. Голосовский, А.Б. Юдин, В.Р. Медведев, С.Н. Васягин, Е.В. Евтушенко // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11. № 4. С. 196-211.
20. Bubeev Yu.A. Mathematical modelling of spread covid-19 epidemic for preventive measures to protect life and health of elderly / Yu.A. Bubeev, B.M. Vladimirov, I.B. Ushakov, V.M. Usov, A.V. Bogomolov // Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software. 2021. Vol. 14. № 3. Pp. 92-98.
21. Богомолов А.В. Концепция математического обеспечения диагностики состояния человека / А.В. Богомолов // Информатика и системы управления. 2008. № 2 (16). С. 11-13.
22. Kukushkin Yu.A. Procedure for synthesizing the index of an operator's psychophysiological stress / Yu.A. Kukushkin, A.V. Bogomolov // Biomedical Engineering. 2001. № 4. Pp. 29-33.
23. Ушаков И.Б. Методологические основы персонифицированного гигиенического мониторинга / И.Б. Ушаков, А.В. Богомолов, С.П. Драган, С.К. Солдатов // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 6. С. 53-56.
24. Блокчейн в здравоохранении, медицине и фармацевтике // Исследования и консалтинг в области технологий «МАИНДСМИТ». – URL: <https://mindsmith.io/blockchain-healthcare/> (дата обращения: 25.03.2022).

Хлопотов Роман Сергеевич

ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН», г. Санкт-Петербург

Научный сотрудник лаборатории социкиберфизических систем.

14-я линия В.О., д. 39, Санкт-Петербург, 199178, Россия

Тел. +7(903)736-73-68

E-mail: gniiivm-h@ya.ru

R.S. KHLOPOTOV

ANALYSIS OF TRENDS IN THE FIELD OF MEDICAL INFORMATICS

Abstract. *The article presents conclusions from the analysis of the intensively developing field of modern healthcare - medical informatics; the experience of using digital technologies in medicine is characterized, the world current technological trends are identified and the results of predicting their development in Russia are presented. The semantics of the concept of "medical information system" is characterized, the factors and trends in the development of medical information systems are specified. Based on the results of the analysis of the main global trends and barriers to the development of artificial intelligence technologies, the main conditions for the accelerated development of artificial intelligence technologies for medical purposes are formulated. The attitude of the public to the observed expansion of the range of medical services provided in digital format was assessed. It is shown that the main characteristic of trends in the development of digital medicine is patient focus: the result of the digital transformation of health care should be to improve health and improve the quality of life of the population.*

Keywords: *digital medicine, medical informatics, digital healthcare, medical information technologies, artificial intelligence, blockchain technologies.*

BIBLIOGRAPHY

1. Seven trends in digital medicine that will dominate in 2021 // News and events in the world of telemedicine, mHealth, medical gadgets and devices. – URL: <https://evercare.ru/news/7-tendenciy-v-cifrovoy-medicine-kotorye-budut-dominirovat-v-2021-godu>. (date of access: 03/27/2022).
2. Anfinogenov, I. Medical information systems in Russia: trends and forecasts for the development of MIS for 2021-2024 / I. Anfinogenov // Medical information systems "Archi Med". – URL: <https://archimed.pro/blog/meditsinskie-informatsionnye-sistemy-v-rossii-trendy-i-prognozy-razvitiya-mis-na-2021-2024-gody/>. (date of access: 03/26/2022).

3. Gusev A.V. Trends and forecasts for the development of medical information systems in Russia / A.V. Gusev, M.A. Pliss, M.B. Levin, R.E. Novitsky // Doctor and information technologies. 2019. No. 2. Pp. 38-49.
4. Trends in the development of artificial intelligence in medicine: an analytical review // GBU "Innovation Agency of the City of Moscow". – URL: https://innoagency.ru/files/AI_in_Healthcare_AIM_2020.pdf. (date of access: 03/25/2022).
5. Starodubov V.I. Assessment of the level of informatization of medical organizations at the stage of creating a single digital circuit in healthcare / V.I. Starodubov, K.V. Sidorov, T.V. Zarubina // Bulletin of Roszdravnadzor. 2020. No. 3. Pp. 20-27.
6. Pugachev P.S. Global trends in the digital transformation of the healthcare industry / P.S. Pugachev, A.V. Gusev, O.S. Kobayakova, F.N. Kadyrov, D.V. Gavrilov, R.E. Novitsky, A.V. Vladimirsky // National health care. 2021. Vol. 2. No. 2. Pp. 5-12.
7. Kobayakova O.S. Telemedicine technologies: prospects and limitations / O.S. Kobayakova, V.I. Starodubov, F.N. Kadyrov, N.G. Kurakova, A.M. Chililov // Doctor and information technologies. 2020. No. S5. Pp. 76-85.
8. Bogomolov A.V. Information technologies of digital adaptive medicine / A.V. Bogomolov // Informatics and automation. 2021. Vol. 20. No. 5. Pp. 1154-1182.
9. Maksimov I.B. Applied theory of information support for medical and biological research / I.B. Maksimov, V.P. Stolyar, A.V. Bogomolov. M: Binom, 2013. 311 p.
11. Haux R. Medical informatics: Past, present, future. / Reinhold Haux // International journal of medical informatics. 2010. No. 79. Pp. 599-610.
12. Health information systems // World Health Organization (2008): official site. – URL: https://www.who.int/whosis/whostat/EN_WHS08_Full.pdf. (date of access: 03/27/2022).
13. Melnik, G. Yu. Medical information systems and their classification / G. Yu. Melnik // Educational social network "nsportal.ru". – URL: <https://nsportal.ru/npo-spo/informatika-i-vychislitelnaya-tehnika/library/2018/06/29/meditsinskie-informatsionnye>. (date of access: 03/27/2022).
14. Ministry of Health of the Russian Federation: website. - Moscow, 2010. - URL: <https://www.rosminzdrav.ru/documents/7439-metodicheskie-ukazaniya>. (date of access: 03/27/2022).
15. Feylamazova S.A. Information technologies in medicine: textbook for medical colleges / S.A. Feylamazova. Makhachkala: DBMK, 2016. 163 p. URL: http://window.edu.ru/resource/189/81189/files/Tutorial_book_on_medical_informatics_2016.PDF. (date of access: 03/27/2022).
16. Plashevaya E.V. Medical information systems: guidelines for self-training of students; Komsomolsk-on-Amur: AmGMA / E.V. Raincoat. – URL: https://www.amursma.ru/upload/iblock/825/Medicinskie_informatsionnye_sistemy.pdf (date of access: 03/27/2022).
17. Lebedev G.S. Classification of medical information systems / G.S. Lebedev, Yu.Yu. Mukhin // Transport business of Russia. 2012. No. 6-2. Pp. 98-105.
18. Bogomolov A.V. Automation of personalized monitoring of working conditions / A.V. Bogomolov, Yu.A. Kukushkin // Automation. Modern technologies. 2015. No. 3. S. 6-8.
18. Ushakov I.B. Informatization of programs of personalized adaptive medicine / I.B. Ushakov, A.V. Bogomolov // Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences. 2014. Vol. 69. No. 5-6. Pp. 124-128.
19. Golosovsky M.S. Algorithm for setting fuzzy inference in medical information systems based on knowledge / M.S. Golosovsky, A.B. Yudin, V.R. Medvedev, S.N. Vasyagin, E.V. Evtushenko // Proceedings of the South-Western State University. Series: Management, computer technology, informatics. Medical instrumentation. 2021. Vol. 11. No. 4. Pp. 196-211.
20. Bubeev Yu.A. Mathematical modeling of spread covid-19 epidemic for preventive measures to protect life and health of the elderly / Yu.A. Bubeev, B.M. Vladimirskiy, I.B. Ushakov, V.M. Usov, A.V. Bogomolov // Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modeling, Programming and Computer Software. 2021 Vol. 14. No. 3. Pp. 92-98.
21. Bogomolov A.V. The concept of mathematical support for diagnosing the human condition / A.V. Bogomolov // Informatics and control systems. 2008. No. 2 (16). Pp. 11-13.
22. Kukushkin Yu.A. Procedure for synthesizing the index of an operator's psychophysiological stress / Yu.A. Kukushkin, A.V. Bogomolov // Biomedical Engineering. 2001. No. 4. Pp. 29-33.
23. Ushakov I.B. Methodological foundations of personalized hygienic monitoring / I.B. Ushakov, A.V. Bogomolov, S.P. Dragan, S.K. Soldatov // Aerospace and Ecological Medicine. 2017. V. 51. No. 6. S. 53-56.
24. Blockchain in healthcare, medicine and pharmaceuticals // Research and consulting in the field of technologies "MAINDSMITH". – URL: <https://mindsmith.io/blockchain-healthcare/> (Accessed: 03/25/2022).

Khlopotov Roman Sergeevich

FGBUN "St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences", St. Petersburg
Researcher at the Laboratory of Sociocyber-Physical Systems.

14th line V.O., 39, St. Petersburg, 199178, Russia

Tlf. +7(903)736-73-68

E-mail: gniiivm-h@ya.ru

© Хлопотов Р.С., 2022

О.И. МАРКОВ

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ВЕТВИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОХЛАДИТЕЛЯ ПРИ СТЕПЕННОЙ ЗАВИСИМОСТИ АМПЛИТУДЫ ИМПУЛЬСА ТОКА

Аннотация. *Выполнено численное моделирование температурного поля ветви термоэлектрического охладителя Пельтье в нестационарном режиме. На примерах различной степенной зависимости амплитуды импульса тока от времени показано изменение динамики температурного поля ветви термоэлемента*

Ключевые слова: *математическое моделирование, температурное поле, твердотельные термоэлектрические охладители Пельтье, импульс тока, нестационарный режим.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иорданишвили Е.К., Бабин В.П. Нестационарные процессы в термоэлектрических и термомагнитных системах преобразования энергии. М.: Наука, 1983. 216 с.
2. Набиев М. Б. Экстремальные режимы работы полупроводниковых термоэлементов и устройств на их основе. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Ашхабад. 1993. 13 с.
3. Дударев Ю. И. Решение нестационарных нелинейных задач теплопроводности в обоснование установок новой техники. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Сухуми, 1998. 23 с.
4. Анатычук Л.И. Термоэлектричество. Т.2. Термоэлектрические преобразователи энергии. Киев, Черновцы.: Институт термоэлектричества. 2003. 374 с.
5. Дударев Ю.Б., Максимов М.З., Сабо Е.П., Хагба Г.С., Дударева С.Ю. Температурное поле термоэлектрических охлаждающих систем в двумерном нестационарном случае. Доклады VIII Международного семинара «Термоэлектрики и их применения». СПб. 2002. С.129-132.
6. Zaykov V., Mescheryakov V., Zhuravlov Yu. Analysis of the possibility to control of the inertia of the thermoelectric cooler / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6/8 (90), 2017. – P. 17–24
7. Зайков В. П., Мещеряков В. И., Журавлев Ю. И. Возможности управления температурой поглощающего спая охлаждающего термоэлемента. East-European Scientific Journal, 7(35), 2018, С 15-21.
8. Марков О.И. Влияние формы импульса тока на динамику температурного поля ветви термоэлектрического охладителя. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. № 3 (347), 2021, с.161-165.

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

DYNAMICS OF THE TEMPERATURE FIELD OF THE THERMOELECTRIC COOLER BRANCH WITH A POWER DEPENDENCE OF THE AMPLITUDE OF THE CURRENT PULSE

Abstract. *Numerical simulation of the temperature field of a branch of a Peltier thermoelectric cooler in a non-stationary mode is performed. The examples of different power dependence of the amplitude of the current pulse on time show the change in the dynamics of the temperature field of the branch of the thermoelectric element.*

Keywords: *mathematical modeling, temperature field, Peltier solid-state thermoelectric coolers, current pulse, non-stationary mode.*

BIBLIOGRAPHY

1. Iordanishvili E.K., Babin V.P. Nestatsionarnye protsessy v termoelektricheskikh i termomagnitnykh sistemakh preobrazovaniya energii. M.: Nauka 1983. 216 s.
2. Nabiev M. B. Ekstremalnye rezhimy raboty poluprovodnikovyykh termoelementov i ustroystv na ikh osnove. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tehnikeskikh nauk. Ashhabad. 1993. 13 s.
3. Dudarev Y. I. Reshenie nestatsionarnykh nelineynykh sadach teploprovodnosti v obosnovanie ustanovok novoi tekhniki. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni doktora tehnikeskikh nauk. Suhumi, 1998. 23 s.
4. Anatyshuk L.I. Termoelektrichestvo. T.2. Termoelektricheskie preobrazovateli energii. Kiev, Chernovtsy. Institut termoelektrichestva, 2003. 374 s.
5. Dudarev Y. I., Maksimov M.S., Sabo E.P., Hagba G.S., Dudareva S.Y. Yemperaturnoe pole termoelektricheskikh ohlazhdayushchikh sistem v dvumernom nestatsionarnom sluchae. Doklady VIII Mezhdunarodnogo seminarov «Termoelektriki i ikh primeneniya». SPb. 2002. S.129-132.
6. Zaykov V., Mescheryakov V., Zhuravlov Yu. Analysis of the possibility to control of the inertia of the thermoelectric cooler / Eastern–European Journal of Enterprise Technologies, 6/8 (90), 2017. – P. 17–24
7. Zaykov V.P., Mescheryakov V.I., Zhuravlov Yu. I. Vozmozhnosti upravleniya temperaturai pogloschayushchego spaya okhlazhdayushchego termoelementa. East–European Scientific Journal, 7(35), 2018, S 15-21.
8. Markov O.I, Vliyanie formy impulsa toka na dinamiku temperaturnogo polja vetvi termoelektricheskogo okhladitelja. Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. № 3 (347), 2021, S.161-165.

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

© Марков О.И., 2022

И.А. ГАЛКИН, Г.Н. ЛУКЬЯНОВ

**МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДАТЧИКОВ ДЫМА
К РАЗЛИЧНЫМ ИСТОЧНИКАМ ЗАДЫМЛЕНИЯ**

Аннотация. В статье описаны принципы работы оптических детекторов дыма, приведена математическая модель выходного сигнала в подобных извещателях. На основании полученных данных был проведен ряд опытов с применением комбинированных методов анализа оптических сигналов для проведения экспериментов. За основу был взят двухдиапазонный оптоэлектронный пожарный извещатель, с помощью которого есть возможность измерять величину отклика фотодиода на вспышки светодиодов с помощью осциллографа. Проведены испытания в дымовом канале. В результате получены кривые зависимости величины отклика от оптической плотности воздуха и рассчитано отношение откликов в ИК и УФ диапазонах для дыма от тлеющего хлопкового фитиля, парафинового спрея и горячей полиуретановой пены. Проведено сравнение полученных результатов с результатами аналогичных испытаний тепловых и ионизационных дымовых датчиков. Сделан вывод о преимуществах применения двухдиапазонного оптического извещателя для повышения чувствительности к различным источникам дыма и возможности уменьшения числа ложных срабатываний пожарных датчиков.

Ключевые слова: дымовой пожарный извещатель, оптическая плотность дыма, дымовой канал, оптический датчик, тепловой датчик, ионизационный датчик, рассеяние Релея, рассеяние Ми.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ahrens M. Home Structure Fires // NFPA Research. – October 2019. – 18 p.
2. Hodkinson J.R. The optical measurement of aerosols // Aerosol Science. – London: Academic Press, 1966. – P. 287 – 357.
3. Фабелинский И.Л. Спектроскопия молекулярного рассеяния света // Соросовский образовательный журнал. — 2004. — Т.8, № 2. — С. 99 – 105.
4. Матвеев А.Н. Оптика: Учеб. пособие для физ. спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1985. – 351 с.
5. Зайцев А.В. Размеры частиц дыма и корректность проведения огневых испытаний пожарных извещателей // Ж. Алгоритм безопасности. – 2014. – № 3. – С. 50 – 54.
6. Alderman St.L., Ingebrethsen Br.J. Characterization of Mainstream Cigarette Smoke Particle Size Distributions from Commercial Cigarettes Using a DMS500 Fast Particulate Spectrometer and Smoking Cycle Simulator // J. Aerosol Science and Technology. – 2011. – 45. – P. 1409 – 1421.
7. Pfister G. Multisensor/Multicriteria Fire Detection: A New Trend Rapidly Becomes State of the Art // J. Fire Technology. – 1997. – N 2. – P. 115 – 139.
8. Backstrom B., Dubiel D., Hunter G. Characterization of Smoke Alarm Nuisances from Cooking Scenarios // Underwriters Laboratories Inc. – August 19, 2015. – 195 p.
9. Cleary Th.G. A Study on the Performance of Current Smoke Alarms to the New Fire and Nuisance Tests Prescribed in ANSI/UL 217-2015 // National Institute of Standards and Technology Technical Note 1947. – December 2016. – 94 p.
10. UL Releases New Requirements to Smoke Alarm Standards, Opens New Test Lab // UL.COM: Underwriters Laboratories USA. – December 8, 2018. – URL: <https://www.ul.com/news/ul-releases-new-requirements-smoke-alarm-standards-opens-new-test-lab>. – (дата обращения: 22.11.2021)
11. UL Standard for Safety for Smoke Alarms, UL 217, Ninth Edition // Underwriters Laboratories Inc. – January 2, 2020. – 208 p.
12. BS EN 54-7:2018, Fire Detection and Fire Alarm Systems // BSI Standards Limited. – September 30, 2018. – 79 p.

Галкин Иван Александрович

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»

Аспирант факультета систем управления и робототехники
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А.
Тел. +7 (981) 958-80-82
E-mail: galkinIA95@yandex.ru

Лукьянов Геннадий Николаевич

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»

Д.т.н., доцент факультета систем управления и робототехники
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А.
Тел. +7 (952) 375-34-28
E-mail: gen-lukjanow@yandex.ru

I.A. GALKIN, G.N. LUKJANOV

METHOD OF INCREASING THE SENSITIVITY OF SMOKE SENSORS TO VARIOUS SOURCES OF SMOKE

Abstract. The article describes the principles of operation of optical smoke detectors, provides a mathematical model of the output signal in such detectors. Based on the data obtained, a number of experiments were carried out using combined methods of analyzing optical signals for conducting experiments. A dual-band optoelectronic fire detector was used as a basis, with the help of which it is possible to measure the magnitude of the photodiode response to LED flashes using an oscilloscope. Tests were carried out in the smoke channel. As a result, curves of dependence of the response value on the optical density of air were obtained and the ratio of responses in the IR and UV ranges for smoke from a smoldering cotton wick, paraffin spray and burning polyurethane foam was calculated. The results obtained were compared with the results of similar tests of thermal and ionization smoke detectors. The conclusion is made about the advantages of using a dual-band optical detector to significantly reduce the number of false alarms of fire sensors.

Keywords: smoke detector, optical density of smoke, smoke channel, optical sensor, thermal sensor, ionization sensor, Rayleigh scattering, Mie scattering.

BIBLIOGRAPHY

1. Ahrens M. Home Structure Fires // NFPA Research. – October 2019. – 18 p.
2. Hodkinson J.R. The optical measurement of aerosols // Aerosol Science. – London: Academic Press, 1966. – P. 287 – 357.
3. Fabelinsky I.L. Spectroscopy of molecular light scattering // Soros Educational Journal. - 2004. - Vol.8, No. 2. - pp. 99 - 105.
4. Matveev A.N. Optics: Textbook for physics. spec. universities. - M.: Higher School, 1985– - 351 p.
5. Zaitsev A.V. The size of smoke particles and the correctness of fire tests of fire detectors // J. Safety algorithm. - 2014. - No. 3. - p. 50 - 54.
6. Alderman St.L., Ingebrethsen Br.J. Characterization of Mainstream Cigarette Smoke Particle Size Distributions from Commercial Cigarettes Using a DMS500 Fast Particulate Spectrometer and Smoking Cycle Simulator // J. Aerosol Science and Technology. – 2011. – 45. – P. 1409 – 1421.
7. Pfister G. Multisensor/Multicriteria Fire Detection: A New Trend Rapidly Becomes State of the Art // J. Fire Technology. – 1997. – N 2. – P. 115 – 139.
8. Backstrom B., Dubiel D., Hunter G. Characterization of Smoke Alarm Nuisances from Cooking Scenarios // Underwriters Laboratories Inc. – August 19, 2015. – 195 p.
9. Cleary Th.G. A Study on the Performance of Current Smoke Alarms to the New Fire and Nuisance Tests Prescribed in ANSI/UL 217-2015 // National Institute of Standards and Technology Technical Note 1947. – December 2016. – 94 p.
10. UL Releases New Requirements to Smoke Alarm Standards, Opens New Test Lab // UL.COM: Underwriters Laboratories USA. – December 8, 2018. – URL: <https://www.ul.com/news/ul-releases-new-requirements-smoke-alarm-standards-opens-new-test-lab>. – (date of application: 11/22/2021)
11. UL Standard for Safety for Smoke Alarms, UL 217, Ninth Edition // Underwriters Laboratories Inc. – January 2, 2020. – 208 p.
12. BS EN 54-7:2018, Fire Detection and Fire Alarm Systems // BSI Standards Limited. – September 30, 2018. – 79 p.

Galkin Ivan Alexandrovich

ITMO University
Graduate student of the Faculty of Control Systems and Robotics
197101, Sankt-Peterburg, Kronverkskij pr., 49, lit. A
Ph. +7 (981) 958-80-82
E-mail: galkinIA95@yandex.ru

Lukjyanov Gennadij Nikolaevich

ITMO University
Eng. D, docent of the Faculty of Control Systems and Robotics
197101, Sankt-Peterburg, Kronverkskij pr., 49, lit. A
Ph. +7 (952) 375-34-28
E-mail: gen-lukjanow@yandex.ru

© Галкин И.А., Лукьянов Г.Н., 2022

В.Г. ЛИСИЧКИН, Н.В. ЛИСИЧКИНА

ДИСКРИМИНАТОРНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ФАЗОВОГО СДВИГА

Аннотация. Статья посвящена исследованиям в области разработки математического аппарата построения схем оптимальных измерителей дискриминаторного типа, использование которых обеспечивает повышение достоверности измерений выходного параметра автогенераторных измерительных приборов с двухконтурной колебательной системой за счет получения более эффективной оценки фазовых сдвигов при контроле параметров окружающей среды в условиях случайного воздействия помех. Синтез схем подоптимального измерителя фазы измерительного сигнала базируется на проведенном авторами анализе стохастического процесса изменения фазового сдвига под влиянием контролируемого параметра и выявлении ряда ограничений, не позволяющих построить оптимальный измеритель фазы в реальных условиях, когда полезный сигнал, формируемый опорным генератором, отличается от эталонного, а возникающие помехи выходят за рамки класса нормальных шумов.

Ключевые слова: автогенераторные измерения, оптимальный измеритель фазы, фазовый сдвиг, дискриминаторный метод измерений, точность измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние дефеката на состояние почвенного покрова и оценка экономического ущерба некоторых хозяйств Орловской области / Л.Е. Тучкова, И.А. Верхолец, И.М. Тихойкина, И.Э. Федотова // Вестник ОрелГИЭТ. – 2018. – № 4(46). – С. 12-16.
2. Bello, Z.A. Evaluation of newly developed capacitance probes for continuous soil water measurement / Z.A. Bello, C.M. Tfwala, L.D. van Rensburg // Geoderma. – 2019. – Т. 345. – С. 104-113.
3. Soil Moisture Measurement by the Dielectric Method / P.P. Bobrov, T.A. Belyaeva, E.S. Kroshka, O.V. Rodionova // Eurasian Soil Science. – 2019. – Т. 52, № 7. – С. 822-833.
4. van Dam, R.L. Methods for prediction of soil dielectric properties: a review / R.L. van Dam, B. Borchers, J.M.H. Hendrickx // Conference on Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets X. – Т. 5794: Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE). – Orlando, FL: Spie-Int Soc Optical Engineering, 2005. – С. 188-197.
5. Wang, J.R. An empirical-model for the complex dielectric permittivity of soils as a function of water-content / J.R. Wang, T.J. Schmugge // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 1980. – Т. 18, № 4. – С. 288-295.
6. Ерошенко, Г.П. Методика обоснования идеализированной математической модели контроля влажности зерна диэлькометрическим методом / Г.П. Ерошенко, Н.К. Шаруев, Д.П. Евстафьев // Измерительная техника. – 2016. – № 12. – С. 58-61.
7. Сапрыка, А.В. Структура возбудителя диэлькометрической системы для исследования биологических объектов с АКПС / А.В. Сапрыка, Р.С. Сингатулин // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2020. – Т. 67. – № 2(39). – С. 27-31. – DOI 10.22314/2658-4859-2020-67-2-27-31.
8. Исследование влияния дисперсных минеральных добавок на свойства строительных материалов на цементных вяжущих диэлькометрическим методом / Г.И. Бердов, П.М. Плетнев, А.Ф. Бернацкий [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2017. – № 6(702). – С. 15-22.
9. Метрологические проблемы строительной влагометрии / В.С. Ройфе, А.А. Верховский, А.С. Запорожец [и др.] // Измерительная техника. – 2017. – № 3. – С. 63-65.
10. Баталов, С.А. Повышение точности геофизических исследований при совершенствовании глубинных влагомеров нефти / С.А. Баталов, В.Е. Андреев, Г.С. Дубинский // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. – 2019. – Т. 31. – № 2(94). – С. 45-54. – DOI 10.24411/1728-5283-2019-10205.
11. Москалев, И.Н. Измеритель плотности газожидкостного потока в составе двухфазного расходомера для скважин газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений / И.Н. Москалев, А.О. Чистяков, А.В. Семенов // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2019. – № 2(547). – С. 16-22. – DOI 10.33285/0132-2222-2019-2(547)-16-22.
12. Цифровой измерительный преобразователь контроля качества продукции нефтяных скважин / Е.Н. Браго, Д.Н. Великанов, Д.В. Мартынов, А.Ю. Мартынова // Приборы. – 2019. – № 4(226). – С. 7-10.
13. Боднар, О.Б. Диэлькометрический метод экспресс-анализа моторных масел / О.Б. Боднар, И.В. Анищенко // Фазовые превращения в углеводородных флюидах: теория и эксперимент: Тезисы докладов Международной научной конференции, Москва, 14–16 сентября 2016 года. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, 2016. – С. 74-75.

14. Фетисов, В.С. Проблемы измерений толщины асфальтосмолопарафиновых отложений в нефтепроводах и пути их решения / В.С. Фетисов, К.А. Табет Наиф // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2018. – Т. 14. – № 1. – С. 55-60.
15. Хусаинов, Ш.Г. Диэлькометрический метод исследования физико-химических характеристик смазочных материалов / Ш.Г. Хусаинов, О.Б. Боднар // Доклады ТСХА, Москва, 03–05 декабря 2019 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2020. – С. 121-123.
16. Данилов, Д.Ю. Методы и технические средства влагометрии сыпучих материалов / Д.Ю. Данилов, А.Ю. Рындин // Экономика и предпринимательство. – 2016. – № 4-1(69). – С. 1159-1162.
17. Зубко, В.И. Диэлькометрический метод контроля и диагностики электрических свойств полимерных материалов электротехнического назначения / В.И. Зубко, Д.В. Зубко, Г.Н. Сицко // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2015. – № 4. – С. 28-34.
18. Коробко, А.А. Многочастотные алгоритмы определения влагосодержания жидких эмульсий методом резонансной диэлькометрии / А.А. Коробко // Электротехника и электромеханика. – 2017. – № 3. – С. 40-46. – DOI 10.20998/2074-272X.2017.3.06.
19. Диэлькометрический метод контроля состава и фазового состояния крио агентов, используемых на водном транспорте / К. Комиссаров, А.В. Филь, С.В. Мартемьянов [и др.] // Эксплуатация морского транспорта. – 2019. – № 2(91). – С. 93-101. – DOI 10.34046/aumsuomt91/16.
20. Контроль содержания воды в битумных дорожных эмульсиях с использованием диэлькометрического метода / Р.В. Саванчук, Н.Д. Яценко, О.И. Сазонова, Л.Д. Попова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2019. – № 2(202). – С. 81-86. – DOI 10.17213/0321-2653-2019-2-81-86.
21. Баженов, И.Н. Способ двухпараметрического контроля толщины немагнитных металлических покрытий / И.Н. Баженов, Ю.Б. Иванов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2015. – № 2(310). – С. 127-132.
22. Рудаков, В.В. Высокочувствительный СВЧ измеритель влагосодержания в неполярных диэлектрических жидкостях на основе ступенчатого неоднородного коаксиального резонатора / В.В. Рудаков, А.А. Коробко // Электротехника и электромеханика. – 2016. – № 5. – С. 51-56. – DOI 10.20998/2074-272X.2016.5.08.
23. Quantitative evaluation of soil ion content using an imaginary part model of soil dielectric constant / W. Hu, L. Zhang, B.L. Chen, Z.G. Zhou // Scientia Agricola. – 2019. – Т. 76, № 4. – С. 299-304.
24. Перрен, А.А. Анализ и экспериментальное обоснование синхронно-волнообразного характера изменения механической прочности и диэлектрических потерь при водопоглощении (водосбросе) в конструкционных полимерных композитах (сферо-, стекло-, углепластиках) / А.А. Перрен, Р.В. Седлецкий // Вопросы материаловедения. – 2015. – № 4(84). – С. 80-90.
25. Microwave dielectric behavior of wet soil.2. Dielectric mixing models / M.C. Dobson, F.T. Ulaby, M.T. Hallikainen, M.A. Elrayes // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 1985. – Т. 23, № 1. – С. 35-46.
26. New dielectric mixture equation for porous materials based on depolarization factors / M.A. Hilhorst, C. Dirksen, F.W.H. Kampers, R.A. Feddes // Soil Science Society of America Journal. – 2000. – Т. 64, № 5. – С. 1581-1587.
27. Арш, Э.С. Автогенераторные измерения / Э.С. Арш. – М.: Энергия, 1976. – 136 с.
28. Лисичкин, В.Г. Снижение погрешности измерений и потребляемой мощности в приборах резонансного контроля влажности / В.Г. Лисичкин, Б.Р. Иванов // Измерительная техника. – 2012. – № 1. – С. 66–70.
29. Frequency dependence of the complex permittivity and its impact on dielectric sensor calibration in soils / T.J. Kelleners, D.A. Robinson, P.J. Shouse, J.E. Ayars, T.H. Skaggs // Soil Science Society of America Journal. – 2005. – Т. 69, № 1. – С. 67-76.
30. Тихонов, В.И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем / В.И. Тихонов, В.Н. Харисов. – М.: Радио и связь, 1991. – 608 с.
31. Тихонов, В.И. Статистическая радиотехника / В.И. Тихонов. – М.: Радио и связь, 1982. – 624 с.
32. An improved Microwave Semiempirical Model for the Dielectric Behavior of Moist Soils / J. Liu, Q.H. Liu, H. Li, Y.M. Du, B. Cao // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2018. – Т. 56, № 11. – С. 6630-6644.
33. Ван Трис, Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции / Г. Ван Трис. Т. 1: Пер. с англ. – М.: Сов. Радио, 1972. – 744 с.
34. Тяжев, А.И. Выходные устройства приемников с цифровой обработкой сигналов / А.И. Тяжев. – Изд. «Самарский университет», 1992. – 276 с.
35. Жодзишский, М.И. Цифровые системы фазовой синхронизации / М.И. Жодзишский, С.Ю. Сила-Новицкий, В.А. Прасолов. – М.: Сов. Радио, 1980. – 208 с.
36. Savina, A.G. Competitive advantages and the problems of introduction of domestic information managements systems of project activity / A.G. Savina, L.I. Malyavkina, D.A. Savin // Economic Environment. – 2020. – № 3(33). – С. 26–33.
37. Topp, G.C. The Early Development of TDR for Soil Measurements / G.C. Topp, J.L. Davis, A.P. Annan // Vadose Zone Journal. – 2003. – Т. 2, № 4. – С. 492-499.

Лисичкин Владимир Георгиевич

Академия ФСО России, г. Орел

Доктор технических наук, доцент, сотрудник

302034, г. Орёл, ул. Приборостроительная, д. 35

Тел.: 8 910 266 25 57

E-mail: lisichkin-vg@rambler.ru

Лисичкина Наталья Владимировна

Среднерусский институт управления – филиал

РАНХиГС, г. Орел

Кандидат экономических наук, доцент, доцент

кафедры менеджмента и управления персоналом

302028, г. Орел, ул. Октябрьская, д. 12

Тел.: 8 910 266 25 57

E-mail: natalyorel@hotmail.com

V.G. LISICHKIN, N.V. LISICHKINA

ESTIMATION OF PHASE SHIFT AT AUTOGENERATING MEASUREMENTS

Abstract. *The article is devoted to research in the field of developing a mathematical apparatus for constructing schemes of optimal discriminator-type meters. The use of such schemes provides an increase in the reliability of measurements of the output parameter of autogenerator measuring devices with a two-circuit oscillatory system by obtaining a more effective assessment of phase shifts when monitoring environmental parameters under conditions of random interference. The synthesis of the schemes for an optimal measuring signal phase meter is based on the authors' analysis of the stochastic process of changing the phase shift under the influence of the controlled parameter. A number of limitations have been identified that do not allow building an optimal phase meter in real conditions when the useful signal generated by the reference generator differs from the reference oscillator, and the resulting interference is outside the normal noise class.*

Keywords: *autogenerator measurements, optimal phase meter, phase shift, discriminator measurement method, measurement accuracy.*

BIBLIOGRAPHY

1. Vlijanie defekata na sostojanie pochvennogo pokrova i ocenka jekonomicheskogo ushherba nekotoryh hozjajstv Orlovskoj oblasti / L.E. Tuchkova, I.A. Verhovec, I.M. Tihojkina, I.Je. Fedotova // Vestnik OrelGIIeT. – 2018. – № 4(46). – S. 12-16.
2. Bello, Z.A. Evaluation of newly developed capacitance probes for continuous soil water measurement / Z.A. Bello, C.M. Tfwala, L.D. van Rensburg // Geoderma. – 2019. – T. 345. – C. 104-113.
3. Soil Moisture Measurement by the Dielectric Method / P.P. Bobrov, T.A. Belyaeva, E.S. Kroshka, O.V. Rodionova // Eurasian Soil Science. – 2019. – T. 52, № 7. – C. 822-833.
4. van Dam, R.L. Methods for prediction of soil dielectric properties: a review / R.L. van Dam, B. Borchers, J.M.H. Hendrickx // Conference on Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets X. – T. 5794: Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE). – Orlando, FL: Spie-Int Soc Optical Engineering, 2005. – C. 188-197.
5. Wang, J.R. An empirical-model for the complex dielectric permittivity of soils as a function of water-content / J.R. Wang, T.J. Schmugge // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 1980. – T. 18, № 4. – C. 288-295.
6. Eroshenko, G.P. Metodika obosnovanija idealizirovannoj matematicheskoj modeli kontrolja vlazhnosti zerna dijkometricheskimi metodami / G.P. Eroshenko, N.K. Sharuev, D.P. Evstafev // Izmeritelnaja tehnika. – 2016. – № 12. – S. 58-61.
7. Sapryka, A.V. Struktura vzbuditelja dijkometricheskoj sistemy dlja issledovanija biologicheskikh objektov s AKPS / A.V. Sapryka, R.S. Singatulin // Jelektrotehnologii i jelektrooborudovanie v APK. – 2020. – T. 67. – № 2(39). – S. 27-31. – DOI 10.22314/2658-4859-2020-67-2-27-31.
8. Issledovanie vlijanija dispersnyh mineralnyh dobavok na svojstva stroitelnyh materialov na cementnyh vjazhushhih dijkometricheskimi metodami / G.I. Berdov, P.M. Pletnev, A.F. Bernackij [i dr.] // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitelstvo. – 2017. – № 6(702). – S. 15-22.
9. Metrologicheskie problemy stroitelnoj vlagometrii / V.S. Rojfe, A.A. Verhovskij, A.S. Zaporozhec [i dr.] // Izmeritelnaja tehnika. – 2017. – № 3. – S. 63-65.
10. Batalov, S.A. Povysenie tochnosti geofizicheskikh issledovanij pri sovershenstvovanii glubinyh vlagomerov nefti / S.A. Batalov, V.E. Andreev, G.S. Dubinskij // Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan. – 2019. – T. 31. – № 2(94). – S. 45-54. – DOI 10.24411/1728-5283-2019-10205.
11. Moskalev, I.N. Izmeritel plotnosti gazozhidkostnogo potoka v sostave dvuhfaznogo rashodomera dlja skvazhin gazokondensatnyh i neftegazokondensatnyh mestorozhdenij / I.N. Moskalev, A.O. Chistjakov, A.V. Semenov

- // Avtomatizacija, telemehanizacija i svjaz v neftjanoj promyshlennosti. – 2019. – № 2(547). – S. 16-22. – DOI 10.33285/0132-2222-2019-2(547)-16-22.
12. Cifrovoy izmeritelnyj preobrazovatel kontrolja kachestva produkcii neftjanyh skvazhin / E.N. Brago, D.N. Velikanov, D.V. Martynov, A.Ju. Martynova // *Pribory*. – 2019. – № 4(226). – S. 7-10.
13. Bodnar, O.B. Dijelkometricheskij metod jekspress-analiza motornyh masel / O.B. Bodnar, I.V. Anishhenko // *Fazovye prevrashhenija v uglevodorodnyh fljuidah: teorija i jeksperiment: Tezisy dokladov Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, Moskva, 14–16 sentjabrja 2016 goda*. – Moskva: Rossijskij gosudarstvennyj universitet nefti i gaza (nacionalnyj issledovatel'skij universitet) imeni I.M. Gubkina, 2016. – S. 74-75.
14. Fetisov, V.S. Problemy izmerenij tolshhiny asfaltosmoloparafinyh otlozhenij v nefteprovodah i puti ih reshenija / V.S. Fetisov, K.A. Tabet Naif // *Jelektrotehnicheskie i informacionnye kompleksy i sistemy*. – 2018. – T. 14. – № 1. – S. 55-60.
15. Husainov, Sh.G. Dijelkometricheskij metod issledovanija fiziko-himicheskikh harakteristik smazochnyh materialov / Sh.G. Husainov, O.B. Bodnar // *Doklady TSHA, Moskva, 03–05 dekabrja 2019 goda*. – Moskva: Rossijskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet - MSHA im. K.A. Timirjazeva, 2020. – S. 121-123.
16. Danilov, D.Ju. Metody i tehničeskije sredstva vlagometrii sypuchih materialov / D.Ju. Danilov, A.Ju. Ryndin // *Jekonomika i predprinimatel'stvo*. – 2016. – № 4-1(69). – S. 1159-1162.
17. Zubko, V.I. Dijelkometricheskij metod kontrolja i diagnostiki jelektricheskikh svojstv polimernyh materialov jelektrotehnicheskogo naznachenija / V.I. Zubko, D.V. Zubko, G.N. Sicko // *Izvestija Nacionalnoj akademii nauk Belarusi. Serija fiziko-tehnicheskikh nauk*. – 2015. – № 4. – S. 28-34.
18. Korobko, A.A. Mnogochastotnye algoritmy opredelenija vlagosoderzhanija zhidkih jemulsij metodom rezonasnoj dielkometrii / A.A. Korobko // *Jelektrotehnika i jelectromehanika*. – 2017. – № 3. – S. 40-46. – DOI 10.20998/2074-272X.2017.3.06.
19. Dijelkometricheskij metod kontrolja sostava i fazovogo sostojanija krio agentov, ispolzuemyh na vodnom transporte / K. Komissarov, A.V. Fil, S.V. Martemjanov [i dr.] // *Jekspluatacija morskogo transporta*. – 2019. – № 2(91). – S. 93-101. – DOI 10.34046/aumsuomt91/16.
20. Kontrol soderzhanija vody v bitumnyh dorozhnyh jemulsijah s ispolzovaniem dielkometricheskogo metoda / R.V. Savanchuk, N.D. Jacenko, O.I. Sazonova, L.D. Popova // *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Tehniceskie nauki*. – 2019. – № 2(202). – S. 81-86. – DOI 10.17213/0321-2653-2019-2-81-86.
22. Rudakov, V.V. Vysokochuvstvitelnyj SVCh izmeritel vlagosoderzhanija v nepoljarnyh diielektricheskikh zhidkostjah na osnove stupenchatogo neodnorodnogo koaksialnogo rezonatora / V.V. Rudakov, A.A. Korobko // *Jelektrotehnika i jelectromehanika*. – 2016. – № 5. – S. 51-56. – DOI 10.20998/2074-272X.2016.5.08.
21. Bazhenov, I.N. Sposob dvuhparametricheskogo kontrolja tolshhiny nemagnitnyh metallicheskih pokrytij / I.N. Bazhenov, Ju.B. Ivanov // *Fundamentalnye i prikladnye problemy tehniki i tehnologij*. – 2015. – № 2(310). – S. 127-132.
23. Quantitative evaluation of soil ion content using an imaginary part model of soil dielectric constant / W. Hu, L. Zhang, B.L. Chen, Z.G. Zhou // *Scientia Agricola*. – 2019. – T. 76, № 4. – C. 299-304.
24. Perren, A.A. Analiz i jeksperimentalnoe obosnovanie sinhronno-volnoobraznogo haraktera izmenenija mehanicheskoi prochnosti i diielektricheskikh poter pri vodopogloshhenii (vodosbrose) v konstrukcionnyh polimernyh kompozitah (sfero-, steklo-, ugleplastikah) / A.A. Perren, R.V. Sedleckij // *Voprosy materialovedenija*. – 2015. – № 4(84). – S. 80-90.
25. Microwave dielectric behavior of wet soil.2. Dielectric mixing models / M.C. Dobson, F.T. Ulaby, M.T. Hallikainen, M.A. Elrayes // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 1985. – T. 23, № 1. – C. 35-46.
26. New dielectric mixture equation for porous materials based on depolarization factors / M.A. Hilhorst, C. Dirksen, F.W.H. Kampers, R.A. Feddes // *Soil Science Society of America Journal*. – 2000. – T. 64, № 5. – C. 1581-1587.
27. Arsh, Je.S. Avtogeneratornye izmerenija / Je.S. Arsh. – M.: Jenergija, 1976. – 136 s.
28. Lisichkin, V.G. Snizhenie pogreshnosti izmerenij i potrebljaemoj moshhnosti v priborah rezonansnogo kontrolja vlazhnosti / V.G. Lisichkin, B.R. Ivanov // *Izmeritelnaja tehnika*. – 2012. – № 1. – S. 66–70.
29. Frequency dependence of the complex permittivity and its impact on dielectric sensor calibration in soils / T.J. Kellersen, D.A. Robinson, P.J. Shouse, J.E. Ayars, T.H. Skaggs // *Soil Science Society of America Journal*. – 2005. – T. 69, № 1. – C. 67-76.
30. Tihonov, V.I. Statisticheskij analiz i sintez radiotehnicheskikh ustrojstv i sistem / V.I. Tihonov, V.N. Harisov. – M.: Radio i svjaz, 1991. – 608 s.
31. Tihonov, V.I. Statisticheskaja radiotehnika / V.I. Tihonov. – M.: Radio i svjaz, 1982. – 624 s.
33. Van Tris, G. Teorija obnaruzhenija, ocenok i moduljacji / G. Van Tris. T. 1: Per. s angl. – M.: Sov. Radio, 1972. – 744 s.
34. Tjazhev, A.I. Vyhodnye ustrojstva priemnikov s cifrovoy obrabotkoj signalov / A.I. Tjazhev. – Izd. «Samarskij universitet», 1992. – 276 s.
35. Zhodzishskij, M.I. Cifrovye sistemy fazovoj sinhronizacii / M.I. Zhodzishskij, S.Ju. Sila-Novickij, V.A. Prasolov. – M.: Sov. Radio, 1980. – 208 s.
36. Savina, A.G. Competitive advantages and the problems of introduction of domestic information managements systems of project activity / A.G. Savina, L.I. Malyavkina, D.A. Savin // *Economic Environment*. – 2020. – № 3(33). – C. 26–33.

37. Topp, G.C. The Early Development of TDR for Soil Measurements / G.C. Topp, J.L. Davis, A.P. Annan // Vadose Zone Journal. – 2003. – Т. 2, № 4. – С. 492-499.

Lisichkin Vladimir Georgievich

Russian Academy of FSO (Federal Protect (Guard) Service), Orel
Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor,
Employee of Department
302034, Orel, Priborostroitel'naya Street, 35
Ph.: 8 910 266 25 57
E-mail: lisichkin-vg@rambler.ru

Lisichkina Nataliya Vladimirovna

Central Russian Institute of Management – Branch of RANEPa, Orel
Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of Management and Personnel
Management Department
302028, Orel, Oktyabrskaya Street, 12
Ph.: 8 910 266 25 57
E-mail: natalyorel@hotmail.com

© Лисичкин В.Г., Лисичкина Н.В., 2022

КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА, ИСПЫТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК 62-1/-9

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-353-3-171-178

Ю.Н. ИВАНОВ, Н.В. ДАВЫДОВА, Ю.А. РЕМИЗОВ, В.О. ИВАНОВ, В.А. ЛЮБИМОВ

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ В ЕДИНОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПРИ ПРИСОЕДИНЕНИИ СЕТЕЙ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ К СЕТЯМ СВЯЗИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Аннотация. В данной статье исследованы особенности обеспечения единства измерений в сетях связи специального назначения с коммутацией пакетов (СССН), присоединяемых к сетям связи общего пользования единой сети электросвязи Российской Федерации, использующих технологии коммутации пакетов данных интернет-протокола IP. Обоснована необходимость применения современных методик измерений параметров в СССР, которые позволяют определить необходимые точные и достоверные значения измеряемых параметров с целью обеспечения единства измерений в Единой сети электросвязи Российской Федерации (ЕСЭ).

Ключевые слова: транспортная сеть специальной связи с коммутацией пакетов, методика измерений, средства измерений, метрологическое обеспечение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гилязов, М. Н. Влияние качества обслуживания на коммутацию IP-пакетов [Текст] / М. Н. Гилязов // Молодой ученый. – 2015. – № 11 (91). – С. 282-285. [Электронный ресурс]– URL: <https://moluch.ru/archive/91/19604/> (дата обращения: 4.04.2022).
2. Андреев С.Ю. Математическая модель транспортной сети связи с коммутацией пакетов, учитывающая особенности переноса трафика различного приоритета [Текст] / С.Ю. Андреев, Р.Б. Трегубов, А.И. Переверзев // Телекоммуникации. – 2019. – № 8. – С. 36-48.
3. Мазуренко Д.К. Измерение качества передачи сигналов единого точного времени в сети связи с пакетной коммутацией [Текст] / Д.К. Мазуренко // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Том 10. – № 7. – С. 35-40.
4. Постановление Правительства РФ от 31.10.2009 № 879 (ред. от 09.03.2022) «Об утверждении Положения о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. – 09.11.2009 – № 45 – ст. 5352.
5. Федеральный закон от 07.07.2003 № 126-ФЗ (ред. от 30.12.2021) «О связи» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022) // Собрание законодательства РФ. – 14.07.2003 – № 28 – ст. 2895.
6. Указ Президента Российской Федерации от 30.04.2015 г. № 215 «Об утверждении Положения о связи для нужд органов государственной власти» // Собрание законодательства РФ. – 04.05.2015 – № 18 – ст. 2688.
7. Распоряжение Правительства РФ от 19.04.2017 № 737-р «Об утверждении Стратегии обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 года» // Собрание законодательства РФ, 01.05.2017, N 18, ст. 2803
8. Иванов, Ю. Н. Средства измерительной техники для метрологического обеспечения измерений в инфокоммуникациях: учебно-методическое пособие. В 2 ч. Ч. 1 [Текст] / Ю. Н. Иванов, Н. В. Давыдова, Ю. А. Ремизов [и др.]; под общ. ред. Ю. Н. Иванова. – Орёл: Академия ФСО России, 2022. – 173 с.
9. Приказ Минцифры России от 25.11.2021 № 1229 «Об утверждении Требований к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования» (Зарегистрировано в Минюсте России 28.02.2022 № 67548) // официальный интернет-портал правовой информации <http://pravo.gov.ru>, 01.03.2022.
10. Федеральный закон от 26.06.2008 №102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (с изм. и доп., вступ. в силу с 29.12.2021) // Собрание законодательства РФ. – 30.06.2008 – № 26 – ст. 3021.
11. Указ Президента РФ от 02.01.2011 № 21 (ред. от 31.12.2017) «О государственном метрологическом надзоре в области обороны и обеспечения безопасности Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ, 10.01.2011, № 2, ст. 267.
12. Постановление Правительства Российской Федерации от 16.11.2020. № 1847 «Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений» // Собрание законодательства РФ. – 30.11.2020 – № 48 – ст. 7719

Иванов Юрий Николаевич
Академия ФСО России
Кандидат технических наук,
доцент,
сотрудник,
302034, г.Орел,

Давыдова Надежда Владимировна
Академия ФСО России
Кандидат технических наук,
сотрудник,
302034, г.Орел, ул.
Приборостроительная, 35

Ремизов Юрий Анатольевич
Академия ФСО России
сотрудник,
302034, г.Орел,
ул.Приборостроительная, 35
Тел. (4862)54-94-69

ул.Приборостроительная, 35
Тел. (4862)54-94-69
E-mail: k23@academ.msk.rsnet.ru

Тел. (4862)54-94-69
E-mail: k23@academ.msk.rsnet.ru

E-mail: k23@academ.msk.rsnet.ru

Иванов Владислав Олегович
Академия ФСО России
курсант,
302034, г.Орел, ул.
Приборостроительная, 35
Тел. (4862)54-94-69
E-mail: k23@academ.msk.rsnet.ru

Любимов Владимир Алексеевич
Академия ФСО России
Кандидат военных наук, доцент,
сотрудник,
302034, г.Орел,
ул.Приборостроительная, 35
Тел. (4862)54-94-69
E-mail: k23@academ.msk.rsnet.ru

N.V. DAVYDOVA, Y.N. IVANOV, Y.A. REMIZOV, V.O. IVANOV, V.A. LUBIMOV

FEATURES OF ENSURING UNIFORMITY OF MEASUREMENTS IN THE UNIFIED TELECOMMUNICATION NETWORK OF THE RUSSIAN FEDERATION WHEN CONNECTING SPECIAL-PURPOSE COMMUNICATION NETWORKS TO PUBLIC COMMUNICATION NETWORKS

Abstract. *This article examines the features of ensuring the uniformity of measurements in special-purpose packet switched communication networks (SSSN) connected to public communication networks of the unified telecommunication network of the Russian Federation using technologies for switching data packets of the Internet protocol IP. The need to use modern methods of measuring parameters in the SSSN is justified, which make it possible to determine the necessary accurate and reliable values of measured parameters in order to ensure the uniformity of measurements in the Unified Telecommunication Network of the Russian Federation (EEA).*

Keywords: *transport network of special communication with packet switching, measurement methodology, measuring instruments, metrological support.*

BIBLIOGRAPHY

1. Gilazov, M.N. Impact of service quality on IP packet switching/M.N. Gilazov//Young scientist. – 2015. – № 11 (91). – S. 282-285. – URL: <https://moluch.ru/archive/91/19604/> (accessed date: 14.04.2022).
2. Andreev S.Yu. Mathematical model of the transport network of communication with packet switching, taking into account the peculiarities of traffic transfer of various priorities/S.Yu. Andreev, RB Tregubov, A.I. Pereverzev//Telecommunications. – 2019. – № 8. – S. 36-48.
3. Mazurenko D.K. Measuring the quality of signaling of a single exact time in a packet switched communication network/D.K. Mazurenko//T-Comm: Telecommunications and transport. – 2016. – Tom10. – № 7. – S. 35-40.
4. Decree of the Government of the Russian Federation dated 31.10.2009 No. 879 (as amended by 09.03.2022) "On Approval of the Regulation on Units of Values Permissible for Use in the Russian Federation" //Collection of Legislation of the Russian Federation. – 09.11.2009 – No. 45 – Article 5352.
5. Federal Law of 07.07.2003 No. 126-FZ (as amended by 30.12.2021) "On Communications" (as amended and added, entry. effective from the 01.03.2022) //Collection of legislation of the Russian Federation. – 14.07.2003 – No. 28 – Article 2895.
6. Decree of the President of the Russian Federation of 30.04.2015 No. 215 "On Approval of the Regulation on Communications for the Needs of State Authorities" //Collection of Legislation of the Russian Federation. – 04.05.2015 – No. 18 – Article 2688.
7. Subbotin E. A. Methods and means of measuring parameters of optical telecommunication systems. Textbook for universities.- M.: Hot line-Telecom, 2014.-224 C:II
8. Ivanov, Yu. N. Measuring equipment for metrological support of measurements in infocommunications: educational and methodological manual. In 2 hours Part 1/Yu. N. Ivanov, N.V. Davydova, Yu. A. Remizov [and others]; under the general. ed. Yu. N. Ivanova. - Orel: Academy of the FSO of Russia, 2022. – 173 pages.
9. Order of the Ministry of Finance of Russia dated 25.11.2021 No. 1229 "On Approval of the Requirements for Organizational and Technical Support of the Sustainable Functioning of the Public Communications Network" (Registered with the Ministry of Justice of Russia 28.02.2022 No. 67548) //official Internet portal of legal information <http://pravo.gov.ru>, 01.03.2022.
10. Federal Law No. 102-FZ of 26.06.2008 "On Ensuring Uniformity of Measurements" (with rev. and add., entry. effective from the 29.12.2021) //Collection of legislation of the Russian Federation. – 30.06.2008 – No. 26 – Article 3021.
11. Decree of the President of the Russian Federation dated 02.01.2011 No. 21 (ed. 31.12.2017) "On state metrological supervision in the field of defense and security of the Russian Federation" //Collection of legislation of the Russian Federation, 10.01.2011, No. 2, Art. 267.

12. Resolution of the Government of the Russian Federation dated 16.11.2020. No. 1847 "On approval of the list of measurements related to the sphere of state regulation of ensuring the uniformity of measurements" // Collection of legislation of the Russian Federation. – 30.11.2020 – No. 48 – Article 7719.

Ivanov Yriy Nicolaevich

Academy FSO of Russia
Ph.D, docent, Staff,
302034, Orel, Priboroostroitel'naya, 35
Tel. (4862)54-94-69
E-mail: k23@academ.msk.rsnet.ru

Davydova Nadezhda Vladimirovna

Academy FSO of Russia
Ph.D, Staff,
302034, Orel, Priboroostroitel'naya, 35
Ph. (4862)54-94-69
E-mail: k23@academ.msk.rsnet.ru

Remizov Yuri Anatolyevich

Academy FSO of Russia
Staff,
302034, Orel, ul. Instrument, 35
Tel. (4862)54-94-69
E-mail: k23@academ.msk.rsnet.ru

Ivanov Vladislav Olegovich

Academy FSO of Russia
cadet,
302034, Orel, Priboroostroitel'naya, 35
Tel. (4862)54-94-69
E-mail: k23@academ.msk.rsnet.ru

Lubimov Vladimir Alekseevich

Academy FSO of Russia
Ph.D, docent, Staff,
302034, Orel, Priboroostroitel'naya, 35
Tel. (4862)54-94-69
E-mail: k23@academ.msk.rsnet.ru

© Иванов Ю.Н., Давыдова Н.В., Ремизов Ю.А., Иванов В.О., Любимов В.А., 2022

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

БЕСХОРДОВЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ НЕРОВНОСТЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Аннотация. Рассмотрены задачи контроля неровностей пути, проведен их анализ, показана перспективность развития бесхордовых методов контроля. Приведены математические выражения, которые позволяют определять неровности железнодорожного пути в вертикальной плоскости из сигнала акселерометра, а также датчиков угла наклона, которые устанавливаются на буксах подвижного состава. Выходные сигналы этих датчиков могут быть обработаны с помощью бортовой автоматической системы в режиме реального времени или передаваться на сервер обработки, где с учетом геолокационных координат могут быть проанализированы более протяженные участки пути.

Ключевые слова: Диагностика пути, неровности пути, датчики, математическая модель, акселерометр, датчик угла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Вериги М. Ф., Коган А. Я. Взаимодействие пути и подвижного состава / Под ред. М. Ф. Вериги. М.: Транспорт, 1986.
- 2 Суслов О.А., Ададуров А.С. Идентификация дефектов пути с помощью устройства БУК // Путь и путевое хозяйство. 2019. № 4. С. 17 – 19.
- 3 Петуховский С.В. Расчет кривизны рельсовой нити по стрелам несимметричной измерительной хорды // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2018. Т. 15. № 1. С. 82-89.
- 4 M. Molodova, Z. Li, and R. Dollevoet, "Axle box acceleration: Measurement and simulation for detection of short track defects," Wear, vol. 271, no. 1-2, pp. 349–356, 2011.
- 5 L. D. Slifka, "An accelerometer based approach to measuring displacement of a vehicle body," M.S. thesis, Dept. Elect. Comput. Eng., Michigan Univ., USA, 2004.
- 6 Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути (утв. распоряжением ОАО "РЖД" от 14 ноября 2016 г. N 2288р) (с изменениями и дополнениями).
- 7 Ribeiro, J.G.T., Castro, J.T.P. & Freire, J.L.F. Problems in analogue double integration to determine displacements from acceleration data, Proceedings of the 15th International Modal Analysis Conference, pp. 930-934, Orlando, Florida, 1997.
- 8 Albarbar, A.; Mekid, S.; Starr, A.; Pietruszkiewicz, R. Suitability of MEMS Accelerometers for Condition Monitoring: An experimental study. Sensors. 2008, 8, 784-799.
- 9 LSM6DS3TR-C. iNEMO 6DoF inertial measurement unit (IMU), for entry level / mid-tier smart phones and Portable PC platforms: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.st.com/en/mems-and-sensors/lsm6ds3tr-c.html>. (Дата обращения: 7.06.2022).

Незнанов Александр Иванович

ФГБОУ ВО Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
К.т.н., старший преподаватель кафедры приборостроения, метрологии и сертификации
302020, Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. 8(960)641-45-92
E-mail: orelkir18@gmail.com

Подмастерьев Константин Валентинович

ФГБОУ ВО Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Д.т.н., профессор, директор института приборостроения, автоматизации и информационных технологий
302020, Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. 8(961)620-55-50
E-mail: asms-orel@mail.ru

Суслов Олег Александрович

АО "Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта"
Д.т.н., технический эксперт Научного центра «Рельсы, сварка, транспортное материаловедение»
г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д.10
E-mail: summer-sea-breeze@yandex.ru

A.I. NEZNANOV, K.V. PODMASTERYEV, O.A. SUSLOV

CHORD-LESS METHODS FOR MEASURING VERTICAL IRREGULARITIES OF THE RAILWAY TRACK

Abstract. *In this article, the problems of controlling track irregularities are considered, their analysis is carried out, and the prospects for the development of chordless control methods are shown. Also in this article are mathematical expressions that allow you to determine the irregularities of the railway track in the vertical plane from the accelerometer signal, as well as tilt angle sensors that are installed on the axle boxes of the rolling stock. The output signals of these sensors can be processed by the on-board automatic system in real time or transmitted to a processing server, where, taking into account geolocation coordinates, longer sections of the path can be analyzed.*

Keywords: *Path diagnostics, path irregularities, sensors, mathematical model, accelerometer, angle sensor.*

BIBLIOGRAPHY

- 1 Verigo M. F., Kogan A. YA. Vzaimodejstvie puti i podvizhnogo sostava / Pod red. M. F. Verigo. M.: Transport, 1986.
- 2 Suslov O.A., Adadurov A.S. Identifikaciya defektov puti s pomoshch'yu ustrojstva BUK // Put' i putevye hozyajstvo. 2019. № 4. S. 17 – 19.
- 3 Petuhovskij S.V. Raschet krivizny rel'sovoj niti po strelam nesimmetrichnoj izmeritel'noj hordy // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya. 2018. T. 15. № 1. S. 82 – 89.
- 4 M. Molodova, Z. Li, and R. Dollevoet, "Axle box acceleration: Measurement and simulation for detection of short track defects," Wear, vol. 271, no. 1-2, pp. 349–356, 2011.
- 5 L. D. Slifka, "An accelerometer based approach to measuring displacement of a vehicle body," M.S. thesis, Dept. Elect. Comput. Eng., Michigan Univ., USA, 2004.
- 6 Instrukciya po tekushchemu soderzhaniyu zheleznodorozhnogo puti (utv. rasporyazheniem OAO "RZHD" ot 14 noyabrya 2016 g. N 2288r) (s izmeneniyami i dopolneniyami).
- 7 Ribeiro, J.G.T., Castro, J.T.P. & Freire, J.L.F. Problems in analogue double integration to determine displacements from acceleration data, Proceedings of the 15th International Modal Analysis Conference, pp. 930-934, Orlando, Florida, 1997.
- 8 Albarbar, A.; Mekid, S.; Starr, A.; Pietruszkiewicz, R. Suitability of MEMS Accelerometers for Condition Monitoring: An experimental study. Sensors. 2008, 8, 784-799.
- 9 LSM6DS3TR-C. iNEMO 6DoF inertial measurement unit (IMU), for entry level / mid-tier smart phones and Portable PC platforms: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.st.com/en/mems-and-sensors/lsm6ds3tr-c.html>. (Data obrashcheniya: 7.06.2022).

Neznanov Alexander Ivanovich

Oryol State University named after I.S. Turgenev
Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the
Department of Instrument Engineering, Metrology and
Certification
302020, Orel, Naugorskoye highway, 29
Tel. 8(960)641-45-92
E-mail: orelkir18@gmail.com

Podmasteryev Konstantin Valentinovich

Oryol State University named after I.S. Turgenev
Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the
Institute of Instrument Engineering, Automation and
Information Technology
302020, Orel, Naugorskoye highway, 29
Tel. 8(961)620-55-50
E-mail: asms-orel@mail.ru

Suslov Oleg Alexandrovich

JSC "Scientific Research Institute of Railway Transport"
Doctor of Technical Sciences, Technical Expert of the
Research Center "Rails, Welding, Transport Materials
Science"
Moscow, st. 3rd Mytishchinskaya, 10
E-mail: summer-sea-breeze@yandex.ru

© Незнанов А.И., Подмастерьев К.В., Суслов О.А., 2022

Адрес издателя:

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

Адрес редакции:

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

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

Материалы статей печатаются в авторской редакции

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

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

Подписано в печать 20.06.2022 г.
Дата выхода в свет 12.07.2022г
Формат 70X108/16. Усл. печ. л. 11,625
Цена свободная. Тираж 1000 экз.
Заказ № 108

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