

ISSN 2073-7408

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2 (352) 2022

Редакция

Главный редактор

Радченко С.Ю. д-р техн. наук, проф.

Заместители главного редактора:

Барсуков Г.В. д-р техн. наук, проф.

Гордон В.А. д-р техн. наук, проф.

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

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)

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

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

Копылов Ю.Р. д-р техн. наук, проф. (Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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)

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

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

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

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

Ответственный секретарь:

Тюхтя А.В. канд. техн. наук

Адрес редакции

302030, Орловская обл., г. Орел, ул.

Московская, 34

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

<http://oreluniver.ru>

E-mail: radsu@rambler.ru

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

Подписной индекс **29504**

по объединенному каталогу

«Пресса России»

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

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2022

Содержание

Теоретическая механика и ее приложения

Хромов Е.В., Морев И.Н., Морев Д.С. Экспериментальные исследования вынужденных колебаний балки для различных характеристик демпфирования.....	3
Дологлония А.В., Матвеев В.Т., Клименко А.Г. Оценка эффективности установок органического цикла Ренкина на частичных нагрузках при работе на различных рабочих телах	9

Механика деформируемого твердого тела, динамика и прочность

Гордон В.А., Халыкин А.А., Макеев С.А., Бондаренко В.В. О влиянии контакта гребного вала с дейдунным подшипником на рабочее состояние валопровода	19
--	----

Машиностроительные технологии и оборудование

Неменко А.В., Никитин М.М. Контроль устойчивости режима при финишной обработке	26
Язубов Э.К. Особенности процесса уплотнения порошковых алюминиевых сплавов холодным прессованием	32
Кузнецов М.А., Ильющенко Д.П., Верхотурова Е.В. Изготовление металлических изделий дуговыми методами плавления сварочной проволокой	41
Звягина Е.А., Толстых С.А., Курдюмова Л.Н., Прохоров Д.Г., Шамрин А.В. Оптимизации процесса лазерной сварки при формировании заготовки детали	52
Казьмин Д.А., Тарапанов А.С., Фроленкова Л.Ю., Черепенько А.А. Математическое моделирование процесса предварительного нарезания круговых зубьев цилиндрических колес	58
Крупеня Е.Ю., Фроленкова Л.Ю., Шишкина А.П., Крыгина Е.П. Финишная операция вибрационной протирки деталей с применением сред органического происхождения	64
Неменко А.В., Никитин М.М. Финишная обработка внеосевого параболического зеркала	70
Ковалев В.Д., Панков В.П., Герасимов В.П., Степанова М.В. Исследования лопаток турбин авиационных газотурбинных двигателей в процессе эксплуатации	75

Машиноведение и мехатроника

Хабибуллин Ф.Ф., Исламов Р.Т., Тажибаева А.В., Крымова В.Н. Кинематика характерных точек пространственного 5R механизма	83
Корнеев Ю.С. Синтез и применение пускозащитных муфт в приводах технологических машин	94
Поляков Р.Н., Бондаренко М.Э., Горин А.В., Токмаков Н.В. Стенд для экспериментальных исследований комбинированной опоры	98
Корнаев А.В., Фетисов А.С., Токмакова М.А., Родичева И.В. Сравнительный анализ результатов экспериментальных исследований магнитореологической опоры скольжения	105
Фетисов А.С., Казаков Ю.Н. Алгоритм интеллектуального управления роторными машинами с подшипниками жидкостного трения при смазке магнитореологическими жидкостями	112
Сытин А.В., Киричек А.А., Кошелев А.С. Мехатронный подшипниковый узел турбогенератора энергоблока малой мощности	119
Чернышев В.И., Фомина О.В. Элементы синтеза систем управления	127
Воробьев В.И., Злобин С.Н., Измеров О.В., Дорофеев О.В., Копылов С.О., Ветров В.Ю. Возвращающие устройства двухосных тележек маневровых тепловозов с электропередачей	141
Савин Л.А., Корнеев А.Ю., Казаков Ю.Н. Собственные частоты роторов с коническими подшипниками жидкостного трения	153

Приборы, биотехнические системы и технологии

Брянская Е.О. Анализ влияния оптических свойств гнойного содержимого на результат диагностики в цифровой диафаноскопии	160
Круговой А.Н., Четверкин А.А. Разработка экспериментального образца индивидуального глубоководного аппарата жидкостного дыхания с замкнутой системой циркуляции дыхательной жидкости	168

Контроль, диагностика, испытания и управление качеством

Суржик Д.И., Васильев Г.С., Кузичкин О.Р., Подмастерьев К.В. Исследование шумовых характеристик формирователей сигналов радиопередатчиков беспроводных сетей сбора данных геоэкологического мониторинга ресурсов АПК ..	173
Васильев Г.С., Кузичкин О.Р., Суржик Д.И., Подмастерьев К.В. Оценивание энергетического резерва каналов связи при передаче данных с помощью малоразмерных БПЛА в условиях «умных городов»	184

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)

Zubchaminov 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)

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

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

http://oreluniver.ru

E-mail: radsu@rambler.ru

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

Index on the catalogue of the
«Pressa Rossi» 29504
on the websites www.pressa-ru
and www.aks.ru

© Orel State University, 2022

Contents

Theoretical mechanics and its applications

- Khromov E.V., Moreva I.N., Morev D.S. Experimental studies of forced vibrations of a beam for various damping characteristics 3
- Dologlonyan A.V., Matvienko V.T., Klimenko A.G. Evaluation of the organic Rankin cycle plant efficiency at partial loads for various working fluids 9

Mechanics of deformable solids, dynamics and strength

- Gordon V.A., Khalyavkin A.A., Makeev S.A., Bondarenko V.V. On the influence of contact of the propeller shaft with the stuff bearing on the working condition of the shafting 19

Machine-building technologies and equipment

- Nemenko A.V., Nikitin M.M. Mode stability control during the finishing of a mechanical object 26
- Yagubov E.K. Characteristics of the compaction process that occurs during cold pressing of aluminum alloys 32
- Kuznetsov M.A., Ilyashchenko D.P., Verkhoturova E.V. Manufacture of metal products by arc methods of melting welding wire 41
- Zyagina E.A., Tolstikh S.A., Kurdyumova L.N., Prokhorov D.G., Shamrin A.V. Optimization of the laser welding process with forming a blank part 52
- Kazmin D.A., Tarapanov A.S., Frolenkova L.Yu., Cherepenko A.A. Mathematical modeling of the process of pre-cutting circular teeth of cylindrical wheels 58
- Krupenya E.Y., Frolenkova L.Yu., Shishkina A.P., Krygina E.P. Finishing operation of vibration wiping of parts with the use of organic media 64
- Nemenko A.V., Nikitin M.M. Off-axis finishing parabolic mirror 70
- Kovalev V.D., Pankov V.P., Gerasimov V.P., Stepanova M.V. Studies of turbine blades of aviation gas turbine engines during operation 75

Machine Science and Mechatronics

- Khabibullin F.F., Islamov R.T., Tazhibayeva A.V., Krymova V.N. Kinematics of characteristic points of spatial 5r of the mechanism 83
- Korneev Yu.S. Synthesis of start-up clutches in drives technological machines 94
- Polyakov R.N., Bondarenko M.E., Gorin A.V., Tokmakov N.V. Stand for experimental studies combined support 98
- Kornaev A.V., Fetisov A.S., Tokmakova M.A., Rodicheva I.V. Comparative analysis of the results of experimental investigations of a magnetoreological fluid-filled bearing 105
- Fetisov A.S., Kazakov Yu.N. Intelligent control algorithm for rotary machines with fluid-film bearings lubricated with magnetorheological liquids 112
- Sytin A.V., Kirichek A.A., Koshelev A.S. Mechatronic bearing assembly of a turbogenerator of a low-power power unit 119
- Chernyshev V.I., Fominova O.V. Elements of synthesis of control systems 127
- Vorobev V.I., Zlobin S.N., Izmerov O.V., Dorofeev O.V., Kopylov S.O., Vetrov V.Yu. Return devices of two-axle bogies shunting locomotives with electric transmission 141
- Savin L.A., Korneev A.Yu., Kazakov Yu.N. Natural frequencies of rotors with conical bearings of liquid friction 153

Devices, biotechnical systems and technologies

- Bryanskaya E.O. Analysis of the influence of the purulent contents optical properties on the diagnostic result in digital diaphanoscopy 160
- Krugovoy A.N., Chetverkin A.A. Development of an experimental sample of an individual deep-sea liquid breathing apparatus with a closed respiratory fluid circulation system 168

Monitoring, Diagnostics, Testing and Quality Management

- Surzhik D.I., Vasilyev G.S., Kuzichkin O.R., Podmasteryev K.V. Investigation of noise characteristics of signal formers of radio transmitters of wireless networks of data collection of geoeological monitoring of aic resources 173
- Vasilyev G.S., Kuzichkin O.R., Surzhik D.I., Podmasteryev K.V. Modeling of the energy reserve of communication channels between uavs in the conditions of "smart cities" 184

Е.В. ХРОМОВ, И.Н. МОРЕВА, Д.С. МОРЕВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ БАЛКИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕМПФИРОВАНИЯ

Аннотация. *Исследованы вынужденные изгибные колебания стальной балки с учетом внутреннего трения. Приведен количественный анализ влияния различных вариантов демпфирующей функции на амплитудно-частотные характеристики.*

Показано, что поведение осциллятора в около резонансной области вынужденных колебаний существенно зависит от формы и параметров функции трения. Для построения достаточно точной математической модели исследуемого осциллятора с внутренним трением необходимо использовать комбинированную функцию трения, параметры которой должны обеспечивать выполнение двух критериев: соответствие теоретического и экспериментального значений времени затухания и соответствие теоретической и экспериментальной форм огибающей линии колебаний.

Ключевые слова: демпфирующие свойства, вынужденные колебания, функция трения, осциллограммы колебаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний. - М.: Машиностроение, 1967.-313 с.
2. Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний. – М.: Гос. изд.-во техн. теор. Литературы, 1950. – 345 с.
3. Магнус К. Колебания. – М.: «Мир», 1982, - 302 с.
4. Писаренко Г.С., Береговенко А.Ю. О возможном подходе к учету различных видов диссипации энергии при расчете колебаний реальных механических систем./ Материалы XIII Респ. Науч. конф. – Киев: Наук. думка, 1985. - С. 5 – 15.
5. Баженов В.А., Гром А.А., Гуляев В.И., Лизунов П.П., Нелинейные колебания конструкций с учетом диссипативных сил. / Материалы XIII Респ. Науч. конф. – Киев: Наук. думка, 1985. – С. 131 – 137.
6. Моисеев А.А., Розенберг А.Н. Конструирование и расчет прочности судовых ТЗА. – Л.: Судостроение, 1964. – 510 с.

Морева Ирина Николаевна
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
г. Севастополь
Кандидат технических наук
E-mail: i.n.moreva@mail.ru

Хромов Егор Владимирович
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
г. Севастополь
Кандидат технических наук, доцент
кафедры Энергоустановки
морских судов и сооружений
E-mail: ev.khromov@mail.ru

Морев Дмитрий Сергеевич
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
г. Севастополь
Студент кафедры «Судовождение»
E-mail: dimasik.morev@mail.ru

E.V. KHROMOV, I.N. MOREVA, D.S. MOREV

EXPERIMENTAL STUDIES OF FORCED VIBRATIONS OF A BEAM FOR VARIOUS DAMPING CHARACTERISTICS

Abstract. *Forced bending vibrations of a steel beam are investigated taking into account internal friction. A quantitative analysis of the influence of various variants of the damping function on the amplitude-frequency characteristics is given.*

It is shown that the behavior of the oscillator in the vicinity of the resonant region of forced oscillations depends significantly on the shape and parameters of the friction function. To build a sufficiently accurate mathematical model of the studied oscillator with internal friction, it is necessary to use the combined friction function, the parameters of which must ensure the fulfillment of two criteria: the correspondence between the theoretical and experimental values of the

damping time and the correspondence between the theoretical and experimental forms of the envelope of the oscillation line.

Keywords: *damping properties, forced oscillations, friction function, oscillation oscillograms.*

BIBLIOGRAPHY

1. Panovko Ya.G. Fundamentals of Applied Theory of Oscillations. - M.: Mashinostroenie, 1967.-313 p.
2. Strelkov S.P. Introduction to the theory of oscillations. - M.: State. ed.-in tech. theor. Literature, 1950. - 345 p.
3. Magnus K. Fluctuations. - M.: "Mir", 1982, - 302 p.
4. Pisarenko G.S., Beregoenko A.Yu. On a possible approach to taking into account various types of energy dissipation in the calculation of oscillations of real mechanical systems. / Proceedings of the XIII Rep. Scientific conf. - Kiev: Nauk. Dumka, 1985. - S. 5 - 15.
5. V. A. Bazhenov, A. A. Grom, V. I. Gulyaev, and P. P. Lizunov, Non-linear vibrations of structures taking into account dissipative forces. / Materials XIII Rep. Scientific conf. - Kiev: Nauk. Dumka, 1985. - S. 131 - 137.
6. Moiseev A.A., Rozenberg A.N. Design and calculation of the strength of ship TZA. - L.: Shipbuilding, 1964. - 510 p.

Moreva Irina Nikolaevna
Sevastopol State University,
PhD, Associate Professor
E-mail: i.n.moreva@mail.ru

Khromov Egor Vladimirovich
Sevastopol State University,
PhD, Associate Professor of the
Department «Ship power plants and
structures»,
Sevastopol, Universitetskaya, 33
E-mail: ev.khromov@mail.ru

Morev Dmitry Sergeevich
Sevastopol State University,
Student of the
Department «Navigation»,
Sevastopol, Universitetskaya, 33
E-mail: dimasik.morev@mail.ru

УДК 621.18-9

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-352-2-9-18

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

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВОК ОРГАНИЧЕСКОГО ЦИКЛА РЕНКИНА НА ЧАСТИЧНЫХ НАГРУЗКАХ ПРИ РАБОТЕ НА РАЗЛИЧНЫХ РАБОЧИХ ТЕЛАХ

Аннотация. Установки ОЦР часто работают на переменных нагрузках в зависимости от условий эксплуатации. Поэтому необходимо методику оценки их энергоэффективности для различных рабочих тел на частичных нагрузках. Предметом рассмотрения в статье является математическая модель работы установок органического цикла Ренкина (ОЦР) для утилизации теплоты энергетических установок, работающих в генераторном режиме на частичных нагрузках. Разработанная модель описывает работу установок ОЦР как с регенерацией, так и без регенерации. Показано, что «сухие» вещества меньше теряют мощность и КПД при работе на частичных нагрузках, чем «влажные» в установках ОЦР без регенерации. Установлено, что для утилизации теплоты уходящих газов наиболее подходящей является установка ОЦР с регенерацией, поскольку меньше теряют мощность при работе на долевых нагрузках. Определено, что способ регулирования производительности установки ОЦР с постоянной температурой и переменным расходом обеспечивает ее наибольшую эффективность при работе на частичных нагрузках.

Ключевые слова: органический цикл Ренкина, регенерация теплоты, хладагент, утилизация теплоты, частичные нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brasz Joost J., Biederman Bruce P., Holdmann G. Power production from a moderate-temperature geothermal resource / Paper presented at the Geothermal resources council annual meeting September 25-28th, 2005; Reno, NV, USA.
2. Karellas S., Schuster A. Supercritical Fluid Parameters in Organic Rankine Cycle Applications // Int. J. of Thermodynamics. Vol. 11 (No. 3), P. 101-108, September 2008.
3. Velez F., Segovia J.J., Martin M.C., Antolin G., Chejne F., Quijano A. A technical, economical and market review of organic Rankine cycles for the conversion of low-grade heat for power generation // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012. Vol. 16, no. 6. P. 4175- 4189.
4. Quoilin S., Van Den Broekb M., Declayea S., Dewallefa P., Lemorta V. Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. Vol. 22. P.168-186.

5. Янчошек Л., Кунц П. Органический цикл Ренкина: использование в когенерации // Турбины и дизели. 2012. № 2. С. 50-53.
6. Tchanche B.F., Lambrinos Gr., Frangoudakis A., Papadakis G. Low-grade heat conversion into power using organic Rankine cycles – A review of various applications // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011. Vol.15, iss. 8. P. 3963-3979.
7. Котляр И.В. Судовые газотурбинные установки. – Л.: Судостроение, 1967. – 285 с.
8. Дологлонян А.В. Оптимизация органического цикла Ренкина для источников низкопотенциальной энергии / А.В. Дологлонян, В.Т. Матвеев // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: ИПТС, 2019. Вып. 3 (37). – С. 153-162.
9. Слободянюк Л.И. Проектирование судовых газотурбинных двигателей. – К.: ИСМО, 1996. – 168 с.
10. Сетевой ресурс: http://neochemical.ru/File/DOWTHERM_A_TDS_Russian.pdf [Режим доступа 31.05.19].
11. Сетевой ресурс: <https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/> [Режим доступа 31.05.19].
12. Дологлонян А.В. Термодинамические характеристики комбинированных циклов микрогазотурбинных двигателей для распределенной энергетики / А.В. Дологлонян, В.Т. Матвеев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2020. – № 4-1 (342). – С. 28-41.

Дологлонян Андрей Вартазарович
ФГБНУ Институт природно-технических систем
Российской Федерации, г. Севастополь
Кандидат технических наук, заведующий
лабораторией
E-mail: dologlonyan@hotmail.com

Матвеев Валерий Тимофеевич
ФГБНУ Институт природно-технических систем
Российской Федерации, г. Севастополь
Доктор технических наук, главный научный
сотрудник
E-mail: mvt3900@mail.ru

Клименко Александр Георгиевич
ФГБНУ Институт природно-технических систем
Российской Федерации, г. Севастополь
Ведущий инженер-исследователь
E-mail: kag195877@gmail.com

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

EVALUATION OF THE ORGANIC RANKINE CYCLE PLANT EFFICIENCY AT PARTIAL LOADS FOR VARIOUS WORKING FLUIDS

Abstract. Organic Rankine cycle (ORC) plants often operate with varying loads depending on operating conditions. Therefore, a methodology for assessing their energy efficiency for various working fluids at partial loads is needed. The subject of consideration in the article is a mathematical model of the operation of organic Rankine cycle plants for the recovery of heat from power plants operating in generator mode at partial loads. The developed model describes the operation of ORC plants both with and without regeneration. It is shown that "dry" substances lose power and efficiency less when operating at partial loads than "wet" substances in ORC plants without regeneration. It has been established that an ORC plants with regeneration is the most suitable for utilizing the heat of exhaust gases, since they lose less power when operating at partial loads. It has been determined that the method of regulating the performance of the ORC plant with a constant temperature and variable flow rate ensures its greatest efficiency when operating at partial loads.

Keywords: organic Rankine cycle, heat regeneration, refrigerant, heat recovery, partial loads.

BIBLIOGRAPHY

1. Brasz Joost J., Biederman Bruce P., Holdmann G. Power production from a moderate-temperature geothermal resource / Paper presented at the Geothermal resources council annual meeting September 25-28th, 2005; Reno, NV, USA.
2. Karellas S., Schuster A. Supercritical Fluid Parameters in Organic Rankine Cycle Applications // Int. J. of Thermodynamics. Vol. 11 (No. 3), P. 101-108, September 2008.
3. Velez F., Segovia J.J., Martin M.C., Antolin G., Chejne F., Quijano A. A technical, economical and market review of organic Rankine cycles for the conversion of low-grade heat for power generation // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012. Vol. 16, no. 6. P. 4175- 4189.
4. Quoilin S., Van Den Broekb M., Declaye S., Dewallefa P., Lemorta V. Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. Vol. 22. P.168-186.
5. YAnchoshek L., Kunc P. Organicheskiy cikl Renkina: ispol'zovanie v kogeneracii // Turbiny i dizeli. 2012. №

2. S. 50-53.

6. Tchanche B.F., Lambrinos Gr., Frangoudakis A., Papadakis G. Low-grade heat conversion into power using organic Rankine cycles – A review of various applications // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011. Vol.15, iss. 8. P. 3963-3979.

7. Kotlyar I.V. Sudovye gazoturbinnye ustanovki. – L.: Sudostroenie, 1967. – 285 s.

8. Dologlonyan A.V. Optimizatsiya organicheskogo tsikla Renkina dlya istochnikov nizkopotentsial'noj energii / A.V. Dologlonyan, V.T. Matveenko // Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy. – Sevastopol': IPTS, 2019. Vyp. 3 (37). – S. 153-162.

9. Slobodyanyuk L.I. Proektirovanie sudovyh gazoturbinnih dvigatelej. – K.: ISMO, 1996. – 168 s.

10. Setevoy resurs: http://neochemical.ru/File/DOWTHERM_A_TDS_Russian.pdf [Rezhim dostupa 31.05.19].

11. Setevoy resurs: <https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/> [Rezhim dostupa 31.05.19].

12. Dologlonyan A.V. Termodinamicheskie harakteristiki kombinirovannyh tsiklov mikrogazoturbinnih dvigatelej dlya raspredelennoj energetiki / A.V. Dologlonyan, V.T. Matveenko // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva, 2020. – № 4-1 (342). – S. 28-41.

Dologlonyan Andrey Vartazarovich

FSBSI Institute of nature and technical systems of
Russian Federation, Sevastopol
Candidate of Technical Sciences, head of laboratory
E-mail: dologlonyan@hotmail.com

Matviienko Valerii Timofeevich

FSBSI Institute of nature-technical systems of Russian
Federation, Sevastopol
Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher
E-mail: mvt3900@mail.ru

Klimenko Alexandr Georgievich

FSBSI Institute of nature and technical systems of
Russian Federation, Sevastopol, Lead Research
Engineer
E-mail: kag195877@gmail.com

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА, ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ

УДК 629.5.035.8

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-352-2-19-25

В.А. ГОРДОН, А.А. ХАЛЯВКИН, С.А. МАКЕЕВ, В.В. БОНДАРЕНКО

О ВЛИЯНИИ КОНТАКТА ГРЕБНОГО ВАЛА С ДЕЙДВУДНЫМ ПОДШИПНИКОМ НА РАБОЧЕЕ СОСТОЯНИЕ ВАЛОПРОВОДА

Аннотация. В работе исследуется контакт гребного вала валопровода с дейдвудным подшипником. Описаны конструкция самого валопровода и действующие на него нагрузки. Указывается, что надёжность судовой энергетической установки судна зависит от рабочего состояния дейдвудного устройства, которое характеризуется величиной износа и длиной контакта гребного вала с самим дейдвудным подшипником. Представлены общий вид дейдвудного устройства и формы износа его втулок. Рассматривается расчетная схема в виде балки с постоянным по длине сечением, которая опирается на упругое винклерово основание с коэффициентом жесткости k и нагруженной распределенной нагрузкой от собственного веса валопровода и сосредоточенной нагрузкой от гребного винта. При проведении статических расчетов при заданных параметрах методом начальных параметров получены результаты, которые позволили сделать общий вывод, что неполный контакт гребного вала с дейдвудным подшипником и упругость самого дейдвудного подшипника существенно влияют на напряженно-деформированное состояние валопровода и на срок службы дейдвудного устройства.

Ключевые слова: гребной вал, судовой валопровод, надежность, износ, дейдвудное устройство, дейдвудный подшипник, упругое основание.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров А.В. Сопротивление материалов / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин. – М.: Высшая школа, 1995. – 560 с.
2. Ашуров А.Е. Об одном способе повышения ресурса судовых дейдвудных подшипников / А.Е. Ашуров, С.В. Горин, А.А. Пшеницын, С.В. Чуприна // Судостроение. – 1997.- №2- С. 32-33.
3. Вязовой Ю.А. Повышение надежности валопроводов при помощи упруго-демпфирующих устройств / Ю.А. Вязовой, П.А. Гаращенко, В.И. Локтев // Судостроение. – 1991. – №9. – С.13-17.
4. Гаращенко П.А. Работоспособность судовых валопроводов различной жесткости / П.А. Гаращенко // Вестник Астраханского государственного технического университета. - 2006. - №. 2. - С. 191-195.

5. Денисова Л.М. Исследование поперечных колебаний гребных валов / Л.М. Денисова, А.И. Миронов // Вестник АГТУ. - 2005. - № 2 (25). - С. 98-103.
6. Елизаров В.Н. Укороченные дейдвудные подшипники / В.Н. Елизаров, Д.Г. Середин // Судостроение, № 11, 1975. С. 41 – 43.
7. Елизаров В.Н. Оптимизация параметров капролоновых дейдвудных подшипников за счет снижения их радиальной жесткости / В.Н. Елизаров, А.В. Смыков // Судостроение, № 11, 1983. С. 23 – 26.
8. Кельзон, А.С. Влияние жесткости дейдвудного подшипника на динамику гребного вала и вибрацию кормовой оконечности судна / А.С. Кельзон, В.Г. Мурамович // Доклады Академии наук. - Т. 332. - 1993. - №4-С. 445- 449.
9. Комаров В.В. Состояние укладки гребных валов на дейдвудных опорах // Вестник АГТУ, серия «Морская техника и технология». - 2006.- №2 (31)- С. 259-267.
10. Лысенков П.М. Анализ результатов эксплуатации металлических дейдвудных подшипников на судах отечественной постройки / П.М. Лысенков, А.Я. Спивак // Вопросы судостроения серия «Технология судостроения» выпуск №15, 1977 - С. 62-68.
11. Лысенков П.М. Пути повышения технологичности дейдвудных устройств крупнотоннажных судов / П.М. Лысенков, О.М. Пряхин, М.Б. Рубин // Судостроение, № 9, 1980. С. 34 – 38.
12. Мамонтов, В.А. Расчет поперечных колебаний валопроводов судов с учетом длины и жесткости дейдвудных подшипников / В.А. Мамонтов, А.Р. Рубан, Н.В. Куличкин, А.А. Халявкин // Вестник АГТУ. Серия Морская техника и технология. 2010. - № 2. - С. 30-33.
13. Мамонтов В.А. Анализ износов капролоновых втулок дейдвудных подшипников гребного вала / В.А. Мамонтов, А.И. Миронов, Ч.А. Кужахметов, А.А. Халявкин // Вестник АГТУ, серия «Морская техника и технология». - 2012.- № 1.- С. 30-35.
14. Рубин М.Б. Подшипники в судовой технике: Справочник / М.Б. Рубин, В.Е. Бахарева.- Л.: Судостроение, 1987.- 344 с.
15. Халявкин А. А., Мамонтов В. А., Бондаренко В. В., Ивановская А. В., Лошадкин Д. А., Еремицкий П. В. Способ повышения надежности дейдвудных подшипников валопроводов судов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2022. No 1. С. 42–49. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-1-42-49>.

Гордон Владимир Александрович

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, доктор технических наук, профессор кафедры технической физики и математики 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95
Тел. +7 (4862) 41-98-48
E-mail: gordon@ostu.ru

Халявкин Алексей Александрович

КИМРТ им. ген.-адм. Ф.М. Апраксина - филиал ФГБОУ ВО «ВГУВТ», кандидат технических наук, доцент кафедры судомеханических дисциплин; 414024, г. Астрахань, ул. Б.Хмельницкого, д.3
Тел.: 8917046082
E-mail: sopromat112@mail.ru

Макеев Сергей Александрович

ФГБОУ ВО «СибАДИ»; доктор технических наук, профессор кафедры "Строительные конструкции"; 644050, г. Омск, проспект Мира, д.5.
Тел. 89139687211
E-mail: makeev608079@mail.ru.

Бондаренко Виктор Валентинович

ООО «Река 21», главный инженер.
142211, Московская обл. г. Серпухов, Московское шоссе 84А;
Тел. 89255456491
E-mail: reka21@mail.ru.

V.A. GORDON, A.A. KHALYAVKIN, S.A. MAKEEV, V.V. BONDARENKO

ON THE INFLUENCE OF CONTACT OF THE PROPELLER SHAFT WITH THE STUFF BEARING ON THE WORKING CONDITION OF THE SHAFTING

Abstract. *The work investigates the contact of the propeller shaft of the shafting with the stern tube bearings. The design of the shafting itself and the loads acting on it are described. It is indicated that the reliability of the ship's power plant depends on the operating condition of the stern tube device, which is characterized by the amount of wear and the contact length of the propeller shaft with the stern tube bearing itself. A general view of the stern tube device and the form of wear of its bushings are presented. The design scheme is considered in the form of a beam with a constant section along the length, which is based on an elastic Winclear base with a stiffness coefficient k and loaded with a distributed load from the shaft line's own weight and a concentrated load from the propeller. When carrying out static calculations for given parameters using the method of initial parameters, results were obtained that allowed us to draw a general conclusion that incomplete contact of the propeller shaft with the stern tube bearing and the elasticity of the stern tube bearing itself significantly affect the stress-strain state of the shafting and the service life of the stern tube device.*

Keywords: *propeller shaft, ship shafting, reliability, wear, stern tube, stern tube bearing, elastic base.*

BIBLIOGRAPHY

1. Aleksandrov A.V. Strength of materials / A.V. Aleksandrov, V.D. Potapov, B.P. Derzhavin. - M.: Higher school, 1995. - 560 p.

2. Ashurov A.E. About one way to increase the resource of ship stern tube bearings / A.E. Ashurov, C.B. Gorin, A.A. Pshenitsyn, C.B. Chuprina // Shipbuilding. - 1997. - No. 2. - S. 32-33.
3. Vyazovoi Yu.A. Improving the reliability of shafting with the help of elastic-damping devices / Yu.A. Vyazovoi, P.A. Garashchenko, V.I. Loktev // Shipbuilding. - 1991. - No. 9. - P.13-17.
4. Garashchenko P.A. Efficiency of ship shafting of various stiffness / P.A. Garashchenko // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. - 2006. - no. 2. - S. 191-195.
5. Denisova L.M. Study of transverse vibrations of propeller shafts / L.M. Denisova, A.I. Mironov // Vestnik ASTU. - 2005. - No. 2 (25). - S. 98-103.
6. Elizarov V.N. Shortened stern tube bearings / V.N. Elizarov, D.G. Seredin // Sudostroenie, No. 11, 1975. P. 41 - 43.
7. Elizarov V.N. Optimization of the parameters of caprolon stern tube bearings by reducing their radial stiffness / V.N. Elizarov, A.V. Smykov // Shipbuilding, No. 11, 1983. P. 23 - 26.
8. Kelzon, A.S. Influence of the stiffness of the stern bearing on the dynamics of the propeller shaft and the vibration of the stern end of the vessel / A.S. Kelzon, V.G. Muramovich // Reports of the Academy of Sciences. - T. 332. - 1993. - No. 4 - S. 445-449.
9. Komarov V.V. The state of laying propeller shafts on sterntube bearings // Bulletin of ASTU, series "Marine equipment and technology". - 2006. - No. 2 (31) - P. 259-267.
10. Lysenkov P.M. Lysenkov, A.Ya. Spivak // Issues of shipbuilding, series "Shipbuilding technology" issue No. 15, 1977 - P. 62-68.
11. Lysenkov P.M. Ways to improve the manufacturability of stern devices of large-capacity ships / P.M. Lysenkov, O.M. Pryakhin, M.B. Rubin // Shipbuilding, No. 9, 1980. P. 34 - 38.
12. Mamontov, V.A. Calculation of transverse oscillations of ship shafting, taking into account the length and rigidity of stern tube bearings / V.A. Mamontov, A.R. Ruban, N.V. Kulichkin, A.A. Khalyavkin // Vestnik ASTU. Marine equipment and technology series. 2010. - No. 2. - S. 30-33.
13. Mamontov V.A. Wear analysis of caprolon bushings of propeller shaft stern tube bearings / V.A. Mamontov, A.I. Mironov, Ch.A. Kuzhakhmetov, A.A. Khalyavkin // Bulletin of ASTU, series "Marine equipment and technology". - 2012. - No. 1. - P. 30-35.
14. Rubin M.B. Bearings in marine technology: a Handbook / M.B. Rubin, V.E. Bakhareva.- L.: Shipbuilding, 1987.- 344 p.
15. Khalyavkin A. A., Mamontov V. A., Bondarenko V. V., Ivanovskaya A. V., Loshadkin D. A., Eremitzky P. V. A method for improving the reliability of stern tube bearings of ship shafting // Bulletin of the Astrakhan State Technical university. Series: Marine equipment and technology. 2022. No 1, pp. 42–49. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-1-42-49>.

Gordon Vladimir Alexandrovich

Oryol State University named after I.S. Turgenev, doctor of technical sciences, professor of the department of technical physics and mathematics 302026, Oryol, st. Komsomolskaya, d. 95
Tel. +7 (4862) 41-98-48
E-mail: gordon@ostu.ru

Makeev Sergey Alexandrovich

FSBEI of HE «SibADI»; doctor of technical sciences, professor of the department of building constructions; 644050, Omsk, Prospekt Mira, 5.
Tel. 89255456491
E-mail: makeev608079@mail.ru.

Khalyavkin Alexey Aleksandrovich

KIMRT named after Gen.-Adm. F.M. Apraksin - branch of the FSUE VO "VGUVT", cand. tech. sciences; associate professor of the department of ship mechanical disciplines
Tel. 8917046082
E-mail: sopromat112@mail.ru

Bondarenko Viktor Valentinovich

LLC "River 21", chief engineer.
142211, Moscow region, Serpukhov, Moskovskoe Highway 84A.
Tel. 89255456491
E-mail: reka21@mail.ru.

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 621.923

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-352-2-26-31

А.В. НЕМЕНКО, М.М. НИКИТИН

КОНТРОЛЬ УСТОЙЧИВОСТИ РЕЖИМА ПРИ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКЕ

Аннотация. Предложен алгоритм оценки устойчивости режима финишной обработки изготавливаемого изделия при неизменных параметрах рабочего процесса. В качестве критерия допустимости режима взята конечность изменения во времени модуля комплексного интеграла от обобщенной функции напряжений, полученной по внешнему замкнутому контуру, охватывающему обрабатываемое изделие. Метод

применим для изделий, допускающих установку системы датчиков в плоскости, перпендикулярной оси вращения обрабатываемого инструмента, вне зависимости от формы их внешнего контура

Ключевые слова: финишная обработка, шлифование, полирование, устойчивость режима, методы косвенного контроля, комплекснозначная функция напряжений

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колосов Г.В. Применение комплексной переменной к теории упругости/Г.В.Колосов – Л.:ОНТИ,
2. England A.H. Complex variables in elasticity. Wiley, New York, 1971. 181 p.
3. Jian-ke Lu. Complex variable methods in plane elasticity. World Scientific, 1995. 230 p.
4. Nikolai Gorbushin, Victor A. Eremeyev, Gennady Mishuris. On stress singularity near the tip of a crack with surface stresses. International Journal of Engineering Science, 2020, V. 146 1 #103183
5. Zdeněk P. Bažant, Luis F. Estenssoro. Surface singularity and crack propagation. International Journal of Solids and Structures, 1979, 15 (5), pp. 405-426.
6. Гетц И. Шлифовка и полировка стекла/И. Гетц, З. Козл, И. Котлер, И. Ледерер, А. Шилхан, Ф. Жачек Под общ. ред. инж. И. Гетц / Л: Издательство литературы по строительству, 1967. – 280 с.
7. Лаврентьев М.А. Методы теории функций комплексного переменного/М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат – М.: Наука, 1987. – 688 с.
8. Неменко А.В. Диагностика ранней стадии усталости вращающихся деталей машин/А.В. Неменко, М.М. Никитин//Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, №5(349), 2021, С.151-157.
9. Неменко А.В. Прикладные вопросы оценки технического состояния судовых механических систем/А.В. Неменко, М.М. Никитин – М.: Инфра-М, 2017. – 172с.

Неменко Александра Васильевна

ФГАОУ «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Техническая механика и машиноведение»
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. +79788330519
E-mail: valesan@list.ru

Никитин Михаил Михайлович

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

A.V. NEMENKO, M.M. NIKITIN

MODE STABILITY CONTROL DURING THE FINISHING OF A MECHANICAL OBJECT

Abstract. *An algorithm for estimating the stability of the mode of finishing the manufactured product with unchanged parameters of the workflow is proposed. As a criterion for the admissibility of the mode, the finiteness of the change in time of the modulus of the complex integral from the generalized stress function obtained from an external closed loop covering the workpiece was taken. The method is applicable to products that allow the installation of a sensor system in a plane perpendicular to the axis of rotation of the processing tool, regardless of the shape of their outer contour.*

Keywords: *finishing, grinding, polishing, indirect control methods, complex-valued stress function.*

BIBLIOGRAPHY

1. Kolosov G.V. Primenenie kompleksnoj peremennoj k teorii uprugosti/G.V.Kolosov – L.:ONTI,
2. England A.H. Complex variables in elasticity. Wiley, New York, 1971. 181 p.
3. Jian-ke Lu. Complex variable methods in plane elasticity. World Scientific, 1995. 230 p.
4. Nikolai Gorbushin, Victor A. Eremeyev, Gennady Mishuris. On stress singularity near the tip of a crack with surface stresses. International Journal of Engineering Science, 2020, V. 146 1 #103183
5. Zdeněk P. Bažant, Luis F. Estenssoro. Surface singularity and crack propagation. International Journal of Solids and Structures, 1979, 15 (5), pp. 405-426.
6. Getc I. Shlifovka i polirovka stekla/I. Getc, Z. Kozl, I. Kotler, I. Lederer, A. Shilhan, F. Zhachek Pod obshh. red. inzh. I. Getc / L: Izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu, 1967. – 280 s.
7. Lavrent'ev M.A. Metody teorii funkcij kompleksnogo peremennogo/M.A. Lavrent'ev, B.V. Shabat – M.: Nauka, 1987. – 688 s.
8. Nemenko A.V. Diagnostika rannej stadii ustalosti vrashhajushhihsja detalej mashin/A.V. Nemenko, M.M. Nikitin//Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii, №5(349), 2021, S.151-157.

9.Nemenko A.V. Prikladnye voprosy ocenki tehnikeskogo sostojanija sudovyh mehanicheskikh sistem/A.V. Nemenko, M.M. Nikitin – M.: Infra-M, 2017. – 172s.

Nemenko Alexandra Vasilyvna

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

Nikitin Michael Mikhailovich

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

УДК 621.762.4.5.8

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-352-2-32-40

Э.К. ЯГУБОВ

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ХОЛОДНЫМ ПРЕССОВАНИЕМ

Аннотация. Изложена сущность выполненных работ по выявлению некоторых закономерностей уплотнения дисперсных материалов на основе алюминия. Изучены особенности уплотнения прессовки полученного холодным прессованием алюминиевых гранул. Предложена схематическая модель процесса уплотнения сферических частиц разного размера. В этом плане процесс уплотнения гранул рассматривался в контексте трех этапов. Было обнаружено, что на первом этапе происходит активное уплотнение, в результате которого упаковка частиц порошка становится более плотной. На втором этапе, в результате увеличения давления прессования, площади контакта частиц увеличиваются и образуются ювенильные поверхности трения, что усиливает их молекулярное взаимодействие и сопротивление трению. При переходе прессования от 2-ой стадии к 3-му, образуемое давление усиливает механические контакты и вызывает экструзию частиц в микропоры прессовки. Большие различия между размерами гранул улучшает экструзию мелких частиц.

Проведен анализ изменения некоторых механических показателей пористого композиционного материала на основе алюминия, в зависимости от прикладываемого давления при их уплотнении. С помощью специальных устройств основанных на моделях сжатия, предложенных разными исследователями, было изучено изменение относительной плотности пористого материала в зависимости от давления прессования. В обычной и полулוגарифмической системах координат даны графические описания зависимостей относительной плотности брикетов от давления прессования, а также исходной микротвердости от размеров частиц. Представлены кривые, характеризующие влияние давления прессования как на микротвердость брикетов с различными фракциями, так и на их прочность при сдвиге и сжатии. Приведены формулы расчета, позволяющие вычислить площади начальных и текущих пор, в зависимости от размера частиц составляющих фракций, в любой момент приложения нагрузки до полного уплотнения порошка.

Ключевые слова: дисперсный материал, уплотнение, микротвердость, фракция, брикет, давление прессования, площадь контакта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбатьюк С.М. и др. Разработка технологии производства металломатричных композиционных материалов на основе алюминия методом горячего прессования // *Металлург.* – 2018. – № 12. – с. 54 – 58.
2. Чернышов Е.А. и др. Получение высоко армированного дисперсно-упрочненного композиционного материала на основе алюминия методом внутреннего окисления // *Металлург.* – 2018. – №8. – с. 70 – 81.
3. Shima S., Inue T. Investigating sealing in three directions // *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy.* – 2016. – 22, № 8. – p.257 – 263
4. Nia F. F., Davies S. L. Production of Al-Cu-Si alloys by PM methods // *Powder Metallurgy.* – 1982. – vol. 25, №4. – p. 209 – 215.
5. Радомыслевский И.Д., Печентковский Е.Л., Сердюк Г.Г. и др. Распределение плотности и перемещение порошка при прессовании в закрытых пресс-формах // *Порошковая металлургия*, 1986, № 1, с. 9 – 14.
6. Лаптев А.М. Деформирование пористого металла в закрытой матрице // *Известия вузов: Машиностроение*, 1999, № 7, с. 89 – 94.
7. Велюга Л.Д. Изменение пористости при деформировании порошковых материалов /Л.Д.Велюга, П.А.Витязь, [и др.] // *Кузнечно-штамповочное производство*, 2001, № 1, с.9 – 10

8. Лаптев А.М. Уплотнение пористых материалов в условиях плоской деформации // Известия вузов, Машиностроение, 2008, № 2, с. 158 – 162.
9. Paramanand R., Ramakrishnan P. Effect of powder characteristics on compaction parameters and ejection pressure of compacts // Ibid. – 2010 – 23, № 3 – p. 120 – 125.
10. Жданович Г.М. Теория прессования металлических порошков / Г.М. Жданович. – Москва: Металлургия, 1989. – 264 с.
11. Bohlen J.W., Kar R.J., Chanani G.R.. A Comparative Evaluation of Aluminum Alloy Powders Used for Fabricating High-Strength Powder Metallurgy Extrusions," Rapidly Solidified Powder Aluminum Alloys, ed. by M.E. Fine and E.A. Starke, Jr., ASTM Specid Technical Publication 890, Philadelphia, PA, 1986, pp. 166 – 185.
12. Hackle R.W. Density – pressure relationship in powder compaction // Trans. Met. Soc.AIME. – 2011. – 221. – p. 671 – 675.
13. Штерн М.Б., Сердюк Г.Г., Максименко Л.А. и др. Феноменологические теории прессования порошков // Киев: Наука думка, 2012 – 140 с.
14. Grosch J., Janiche H. Kaltpressschweissen von aluminiumpulver durch strangpressen //Aluminium. – 2014. – 50. N 5. – p.343 – 349.
15. Fischmeister H.F., Arzt E. Densification of powders by particle deformation// Ibid.–2013–26 N 2.– p.82 – 88.
16. Андреева Н.В. Исследование уплотняемости порошков / Н.В. Андреева И. Д. Радомысельский, Н.И. Щербань // Порошковая металлургия. – 1985. – № 6.– С. 32 – 42.
17. Николаев А.Н. Связь между давлением и плотностью прессовок из металлических порошков // Порошковая металлургия, 2002, № 3, с. 3 – 9.
18. Радомысельский И.Д., Щербань Н.И. Некоторые особенности уплотнения порошков на разных стадиях прессования // Порошковая металлургия, 1986, № 11, с. 12 – 19.
19. Barkov L.A., Samodurova M.N., Ivanov V.A., Mymrin S.A. Developing a mold and a method for compacting tungsten powders and tungsten-based composite powders // Metallurgist. – 2014.– №1 – 2.– p. 48 – 57.

Ягубов Эмин Керим оглы

Гянджинский Государственный Университет

г.Гянджа, Азербайджанская Республика

Кандидат технических наук, доцент

AZ2000, г.Гянджа, пр.Г.Алиева, 187

Тел. (+99455)224-16-16

E-mail: emin.yagubov@mail.ru

E.K. YAGUBOV

CHARACTERISTICS OF THE COMPACTION PROCESS THAT OCCURS DURING COLD PRESSING OF ALUMINUM ALLOYS

Abstract. *Some regularities of compaction of al-based disperse materials have been clarified. Features of compaction of the press in the cold pressing of hand rubs have been studied. A schematic module of the compaction process in different sizes of spherical particles has been proposed. For this purpose, the process of compaction of rubble was considered in the context of 3 stages. It was found that in the first stage, high particle packing occurs. In the second stage, as a result of increasing the pressing pressure, the contact areas of the particles increase, and juvenile friction surfaces are formed, which enhances their mutual molecular interaction and friction resistance. The pressure created during the transition from stage 2 to stage 3 of the press strengthens the mechanical contact and causes the particles entering the micro-pores of the press to flow and extrude. The large number of differences between the fractions of abrasive particles enhances the extrusion of small particles.*

The analysis of the change of some mechanical parameters of the porous Al composition depending on the compression pressure was carried out. Using special devices, based on compression models developed by various scientists, the change in relative density during the deformation of the porous material depending on the pressing pressure was studied.

Graphical descriptions of the relative density of briquettes in the ordinary and semi-logarithmic coordinates for hand grinding, as well as the dependence of the initial microhardness of the briquettes on the particle size are given.

In addition, curves showing the effect of pressing pressure on the micro-strength of briquettes of different fractions, as well as on the sliding and compressive strength of briquettes made of different fractures were constructed and presented. Formulas for calculating the initial and current areas of the pores are given, depending on the size of the particles inside the fraction, at any time during the application of the load until the compaction is complete.

Keywords: *dispersed material, compaction, microhardness, fraction, briquette, pressing pressure, contact area.*

BIBLIOGRAPHY

1. Gorbatyuk S.M. i dr. Razrabotka tehnologii proizvodstva metallomatrichnykh kompozitsionnykh materialov na osnove alyuminiya metodom goryachego pressovaniya // Metallurg. – 2018. – № 12. – s. 54 – 58.
2. Chernyishov E.A. i dr. Poluchenie vyisoko armirovannogo dispersno-uprochnennogo kompozitsionnogo materiala na osnove alyuminiya metodom vnutrennego okisleniya // Metallurg. – 2018. – №8. – s. 70 – 81.
3. Shima S., Inue T. Investigating sealing in three directions // Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy. – 2016. – 22, № 8. – p.257 – 263
4. Nia F. F., Davies S. L. Production of Al-Cu-Si alloys by PM methods // Powder Metallurgy. – 1982. – vol. 25, №4. – p. 209 – 215.
5. Radomyiselskiy I.D., Pechentkovskiy E.L., Serdyuk G.G. i dr. Raspredelenie plotnosti i peremeschenie poroshka pri pressovanii v zakrytykh press-formakh // Poroshkovaya metallurgiya, 1986, №1, s. 9 – 14.
6. Laptev A.M. Deformirovanie poristogo metalla v zakryitoy matritse // Izvestiya vuzov: Mashinostroenie, 1999, №7, s. 89 – 94.
7. Velyuga L.D. Izmenenie poristosti pri deformirovanii poroshkovykh materialov /L. D. Velyuga, P.A.Vityaz, [i dr.] // Kuznechno-shtampovoechnoe proizvodstvo, 2001, №1, s. 9 – 10.
8. Laptev A. M. Uplotnenie poristykh materialov v usloviyakh ploskoy deformatsii // Izvestiya vuzov, Mashinostroenie, 2008, № 2, s. 158 – 162.
9. Paramanand R., Ramakrishnan P. Effect of powder characteristics on compaction parameters and ejection pressure of compacts // Ibid. – 2010 – 23, № 3–p. 120 – 125.
10. Zhdanovich G.M. Teoriya pressovaniya metallicheskh poroshkov / G.M. Zhdanovich. – Moskva: Metallurgiya, 1989. – 264 s.
11. Bohlen J.W., Kar R.J., Chanani G.R.. A Comparative Evaluation of Aluminum Alloy Powders Used for Fabricating High-Strength Powder Metallurgy Extrusions," Rapidly Solidified Powder Aluminum Alloys, ed. by M.E. Fine and E.A. Starke, Jr., ASTM Specid Technical Publication 890, Philadelphia, PA, 1986, pp. 166 – 185.
12. Hackle R.W. Density – pressure relationship in powder compaction // Trans. Met. Soc.AIME. – 2011. – 221. – p. 671 – 675.
13. Shtern M.B., Serdyuk G.G., Maksimenko L.A. i dr. Fenomenologicheskie teorii pressovaniya poroshkov // Kiev: Nauka dumka, 2012 – 140 s.
14. Grosch J., Janiche H. Kaltpressschweissen von aluminiumpulver durch strangpressen //Aluminium. – 2014. – 50. № 5. – p.343 – 349.
15. Fischmeister H.F., Arzt E. Densification of powders by particle deformation// Ibid.–2013–26 № 2.– p.82 – 88.
16. Andreeva N.V. Issledovanie uplotnyaemosti poroshkov / N.V. Andreeva I. D. Radomyiselskiy, N.I. Scherban // Poroshkovaya metallurgiya. – 1985. – № 6. – S. 32 – 42.
17. Nikolaev A.N. Svyaz mezhdu davleniem i plotnostyu pressovok iz metallicheskh poroshkov // Poroshkovaya metallurgiya, 2002, № 3, s. 3 – 9.
18. Radomyiselskiy I.D., Scherban N.I. Nekotorye osobennosti uplotneniya poroshkov na raznykh stadiyakh pressovaniya // Poroshkovaya metallurgiya, 1986, № 11, s. 12 – 19.
19. Barkov L.A., Samodurova M.N., Ivanov V.A., Mymrin S.A. Developing a mold and a method for compacting tungsten powders and tungsten-based composite powders // Metallurgist. – 2014. – №1 – 2.– p. 48 – 57.

Yagubov Emin Kerim

Ganja State University

Ganja city, Republic of Azerbaijan

Ph.D on Technical Sciences, Associate Professor

AZ2000, Ganja, H.Aliyev Ave., 187

Tel. (+99455)224-16-16

E-mail: emin.yagubov@mail.ru

УДК 621.791.92-023.5

DOI:10.33979/2073-7408-2022-352-2-41-51

М.А. КУЗНЕЦОВ, Д.П. ИЛЬЯЩЕНКО, Е.В. ВЕРХОТУРОВА

ИЗГОТОВЛЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ДУГОВЫМИ МЕТОДАМИ ПЛАВЛЕНИЯ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКОЙ

Аннотация. В работе представлен обзор современного состояния и тенденций развития аддитивного производства. Рассмотрены основные направления развития и технологические особенности методов реализации данного направления. Отмечена актуальность и перспективность направления, основанного на дуговых методах плавления электродной проволоки (GMAW и GTAW). Предложен способ получения слоев электродуговым послойным выращиванием плавящимся электродом в среде защитных газов. Данный способ основан на автоматической электродуговой наплавки плавящимся электродом в среде защитных газов. Целью данной работы является апробация технологии выращивания металлических изделий на разработанном 3d-принтере на основе автоматической электродуговой наплавки плавящимся электродом в среде защитных газов.

Технология заключается: в создании компьютерной 3D модели изготавливаемого изделия посредством CAD систем, которая в дальнейшем разбивалась на слои; программировании кода выращиваемого объекта; написании программы управления 3d-принтером; формировании объекта на разработанном 3D-принтере. Показана принципиальная возможность применения данного способа для получения металлических изделий. Установлены оптимальные режимы электродугового послойного выращивания проволокой диаметром 0,8 мм бездефектной цилиндрической конструкции с толщиной стенки 2-4 мм (сила тока 70-80А, напряжение 18-20В, скорость наплавки 200 мм/мин).

Ключевые слова: аддитивные технологии, металлические изделия, наплавка, послойное выращивание, метод плавления электродной проволоки GMAW, компьютерная 3D-модель изделия, 3D-принтер, CAD система, сварочная проволока.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, номер FWRW-2021-0003.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wohlers, T. History of additive manufacturing [Электронный документ] / T. Wohlers, T. Gornet // Wohlers Report. 2014. URL: <https:// Wohlersassociates.com/history2014.pdf> (дата обращения: 15.02.22).
2. Wong, K.V. A review of additive manufacturing / K.V. Wong, A. Hernandez // International Scholarly Research Network Mechanical Engineering. – 2012. – Vol. 2012. Article ID 20876. <https://doi.org/10.5402/2012/208760>
3. Kruth, J.P. Progress in additive manufacturing and rapid prototyping / J.P. Kruth, M.C. Leu, T. Nakagawa // CIRP Annals-Manufacturing Technology. – 1998. – Vol. 47(2). – pp.525-540.
4. Довбыш, В.М. Аддитивные технологии и изделия из металла / В.М. Довбыш, П.В. Забеднов, М.А. Зленко // Библиотечка литейщика. – 2014. – № 9. – С. 14-71.
5. Жуков, В.В. Аддитивное производство металлических изделий (обзор) / В.В. Жуков, Г.М. Григоренко, В.А. Шаповалов // Автоматическая сварка. – 2016. – № 5-6. – С. 148-153.
6. Коржик, В.Н. Трехмерная печать металлических объемных изделий сложной формы на основе сварочных плазменно-дуговых технологий / В.Н. Коржик и др. // Автоматическая сварка. – 2016. – № 5-6. – С. 127-134.
7. Carter, W.T. Direct Laser Sintering of Metals / W.T. Carter, J. Carter, G.J. Marshall // 4th Solid Freeform Fabrication Symposium. – 1993. – pp.51-59.
8. Kruth, J.P. Selective laser melting of iron-based powder / J.P. Kruth, et al. // Journal of Materials Processing Technology. – 2003. – Vol. 149. – pp. 616-622.
9. Larsson, M. Rapid Manufacturing with Electron Beam Melting (EBM) - A manufacturing revolution? / M. Larsson, U. Lindthe, O. Harrysson // Solid Freeform Fabrication Symposium. – 2003. – pp. 433-438.
10. Michaels, S. Metal parts generation by three dimensional printing / S. Michaels, E.M. Sachs, M.J. Chima // Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, USA. – 1992. – pp. 244-250.
11. Techel, A. Laser Additive Manufacturing of Turbine Components, Precisely and Repeatable [Электронный документ] / A. Techel // Laser Institute of America. – 2011 URL: <https://www.laserchirp.com/2011/05/laser-additive-manufacturing-of-turbine-components-precisely-and-repeatable/> (дата обращения: 16.02.22).
12. Ding, D.H. Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests / D.H. Ding et al. // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2015. pp. 465-481. DOI: 10.1007/s00170-015-7077-3
13. Taminger, K.M. Electron beam freeform fabrication for cost effective near-net shape manufacturing / K.M. Taminger, R.A. Hafley // 139 specialists meeting on cost effective manufacture via net shape processing. Amsterdam (The Netherlands): NATO. – 2006. – pp.16.1-16.10.
14. Graff, K.F. Very high power ultrasonic additive manufacturing (vhpuam) for advanced materials / K.F. Graff, M. Short, M. Norfolk // Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, USA. – 2010. – pp. 82-89.
15. Коротеев, А.О. Аддитивная технология создания объемных металлических изделий на основе дуговой сварки с импульсной реверсивной подачей присадочного материала / А.О. Коротеев, В.П. Долячко, В.П. Куликов // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2019. – № 4(65). – С. 15-25.
16. Dickens, P.M. Rapid prototyping using 3-D welding / P.M. Dickens et al. // Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, USA. – 1992. – pp. 280-290.
17. Spencer, J.D. Rapid prototyping of metal parts by three-dimensional welding / J.D. Spencer, P.M. Dickens, C.M. Wykes // Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture. – 1998. – pp.175-182, DOI:10.1243/0954405981515590.
18. Ribero, A.F. Rapid prototyping process using metal directly / A.F. Ribero, J. Norrish // Solid Freeform Fabrication Proceedings. – 1996. – pp. 249-256.
19. Kazanas, P. et al. Fabrication of geometrical features using wire and arc additive manufacture / P. Kazanas et al. // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture. – 2012. – pp. 1042-1051. DOI: 10.1177/0954405412437126
20. Xiong, J. Forming appearance analysis in multi-layer single-pass GMAW-based additive manufacturing / J. Xiong, G.J. Zhang, W.H. Zhang // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2015. – pp. 1767-1776. DOI: 10.1007/s00170-015-7112-4

21. Wang, H. Rapid prototyping based on variable polarity gas tungsten arc welding for a 5356 aluminium alloy / H. Wang, R. Kovacevic // *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture*. – 2001. – pp. 1519-1527. DOI: 10.1243/0954405011519420
22. Xiong, J. Adaptive control of deposited height in GMAW-based layer additive manufacturing / J. Xiong, G.J. Zhang // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2014. – pp. 962-968, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2013.11.014, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2013.11.014
23. Xiong, J. Online measurement of bead geometry in GMAW-based additive manufacturing using passive vision / J. Xiong, G.J. Zhang // *Measurement Science and Technology*. – 2013. – pp. 5103. DOI: 10.1088/0957-0233/24/11/115103
24. Yang, D. Forming characteristics of thin-wall steel parts by double electrode GMAW based additive manufacturing / D. Yang, C. He, G. Zhang // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2016. – Vol. 227. – pp. 153-160. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2015.08.021
25. Gu, J.L. The strengthening effect of inter-layer cold working and post-deposition heat treatment on the additively manufactured Al-6.3Cu alloy / J.L. Gu et al. // *Materials Science and Engineering A-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*. – 2016. – pp. 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2015.10.101>
26. Manongharan, G. Experimental Study of Disruption of Columnar Grains During Rapid Solidification in Additive Manufacturing / G. Manongharan et al. // *JOM*. – 2016. – pp. 842-849. DOI: 10.1007/s11837-015-1800-2
27. Bermingham, M.J. Controlling the microstructure and properties of wire arc additive manufactured Ti-6Al-4V with trace boron additions / M.J. Bermingham et al. // *Acta Materialia*. – 2015. – pp. 289-303.
28. Wang, F.D. Morphology investigation on direct current pulsed gas tungsten arc welded additive layer manufactured Ti6Al4V alloy / F.D. Wang, S. Williams, M. Rush // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2011. – pp. 597-603. <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3299-1>
29. Cong, B.O. Influence of CMT Process on Porosity of Wire Arc Additive Manufactured Al-Cu Alloy / B.O. Cong, J.L. Ding // *Rare Metal Materials and Engineering*. – 2014. – pp. 3149-3153.
30. Cong, B.O. Effect of arc mode in cold metal transfer process on porosity of additively manufactured Al-6.3%Cu alloy / B.O. Cong, J.L. Ding, S. Williams // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – Feb. 2015. – pp. 1593-1606. DOI: 10.1007/s00170-014-6346-x
31. Abe, T. Dissimilar metal deposition with a stainless steel and nickel-based alloy using wire and arc-based additive manufacturing / T. Abe, H. Sasahara // *Precision Engineering- Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology*. – Jun. 2016. – pp. 387-395, DOI: 10.1016/j.precisioneng.2016.03.016.
32. Liu, L.M. Additive manufacturing of steel-bronze bimetal by shaped metal deposition: interface characteristics and tensile properties / L.M. Liu et al. // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – Dec. 2013. – pp. 2131-2137. DOI: 10.1016/j.precisioneng.2016.03.016
33. Ding D.H. Bead modelling and implementation of adaptive MAT path in wire and arc additive manufacturing / D.H. Ding et al. // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. – Jun. 2016. – pp. 32-42. DOI: 10.1016/j.rcim.2015.12.004
34. Ding D.H. Towards an automated robotic arc-welding-based additive manufacturing system from CAD to finished part / D.H. Ding et al. // *Computer-Aided Design*. – Apr. 2016. – pp. 66-75. DOI: 10.1016/j.cad.2015.12.003
35. Ding, J. Thermo-mechanical analysis of Wire and Arc Additive Layer Manufacturing process on large multi-layer parts / J. Ding et al. // *Computational Materials Science*. – Dec. 2011. – pp. 3315- 3322. DOI: 10.1016/j.commatsci.2011.06.023
36. Ding, D.H. A multi-bead overlapping model for robotic wire and arc additive manufacturing (WAAM) / D.H. Ding et al. // *Robotics and Computer- Integrated Manufacturing*. – Feb. 2015. – pp. 101-110. DOI: 10.1016/j.commatsci.2011.06.023
37. Ding, D.H. Process planning strategy for wire and arc additive manufacturing / D.H. Ding et al. // *Robotic Welding, Intelligence and Automation, RWIA'2014*. – 2015. – pp. 437-450. DOI: 10.1016/j.commatsci.2011.06.023
38. Xiong, J. Bead geometry prediction for robotic GMAW-based rapid manufacturing through a neural network and a second-order regression analysis / J. Xiong et al. // *Journal of Intelligent Manufacturing*. – Feb. 2014. – pp. 157-162. DOI: 10.1007/s10845-012-0682-1
39. Xiong, J. Forecasting process parameters for GMAW-based rapid manufacturing using closed-loop iteration based on neural network / J. Xiong et al. // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – Oct. 2013. – pp. 743-751. DOI: 10.1007/s00170-013-5038-2.

Кузнецов Максим Александрович

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета, г. Юрга
Кандидат наук. к.т.н., доцент кафедры сварки
652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
Тел.: (3822) 70-17-77, Вн. тел.: 6733
E-mail: kvznechik85@mail.ru

Ильященко Дмитрий Павлович

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета, г. Юрга
Кандидат наук. к.т.н., доцент кафедры сварки
652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
Тел.: (3822) 70-17-77, Вн. тел.: 6731
E-mail: mita8@rambler.ru

Верхотурова Елена Викторовна

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск
Кандидат наук. к.т.н., научный сотрудник научно-исследовательского отдела
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83
Тел.: (3952) 40-51-52
E-mail: vev.irk@mail.ru

MANUFACTURE OF METAL PRODUCTS BY ARC METHODS OF MELTING WELDING WIRE

Abstract. *The article describes the Two-way gas burner flame in which the camera has a deadlock design, and not as typical flow furnace.*

Keywords: *two-way furnace, furnace processes, variation interval.*

BIBLIOGRAPHY

1. Wohlers, T. History of additive manufacturing [Электронный документ] / T. Wohlers, T. Gornet // Wohlers Report. 2014. URL: <https:// Wohlersassociates.com/history2014.pdf> (дата обращения: 15.02.22).
2. Wong, K.V. A review of additive manufacturing / K.V. Wong, A. Hernandez // International Scholarly Research Network Mechanical Engineering. – 2012. – Vol. 2012. Article ID 20876. <https://doi.org/10.5402/2012/208760>
3. Kruth, J.P. Progress in additive manufacturing and rapid prototyping / J.P. Kruth, M.C. Leu, T. Nakagawa // CIRP Annals-Manufacturing Technology. – 1998. – Vol. 47(2). – pp.525-540.
4. Dovbysh, V.M. Additive technologies and metal products / V.M. Dovbysh, P.V. Zabednov, M.A. Zlenko // Caster's Library. - 2014. - No. 9. - P. 14-71.
5. Zhukov, V.V. Additive manufacturing of metal products (review) / V.V. Zhukov, G.M. Grigorenko, V.A. Shapovalov // Automatic welding. - 2016. - No. 5-6. – S. 148-153.
6. Korzhik, V.N. Three-dimensional printing of metal volumetric products of complex shape based on welding plasma-arc technologies / V.N. Korzhik and others // Automatic welding. - 2016. - No. 5-6. - S. 127-134.
7. Carter, W.T. Direct Laser Sintering of Metals / W.T. Carter, J. Carter, G.J. Marshall // 4th Solid Freeform Fabrication Symposium. – 1993. – pp.51-59.
8. Kruth, J.P. Selective laser melting of iron-based powder / J.P. Kruth, et al. // Journal of Materials Processing Technology. – 2003. – Vol. 149. – pp. 616-622.
9. Larsson, M. Rapid Manufacturing with Electron Beam Melting (EBM) - A manufacturing revolution? / M. Larsson, U. Lindthe, O. Harrysson // Solid Freeform Fabrication Symposium. – 2003. – pp. 433-438.
10. Michaels, S. Metal parts generation by three dimensional printing / S. Michaels, E.M. Sachs, M.J. Chima // Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, USA. – 1992. – pp. 244-250.
11. Techel, A. Laser Additive Manufacturing of Turbine Components, Precisely and Repeatable [Электронный документ] / A. Techel // Laser Institute of America. – 2011 URL: <https://www.laserchirp.com/2011/05/laser-additive-manufacturing-of-turbine-components-precisely-and-repeatable/> (дата обращения: 16.02.22).
12. Ding, D.H. Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests / D.H. Ding et al. // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2015. pp. 465-481. DOI: 10.1007/s00170-015-7077-3
13. Taminger, K.M. Electron beam freeform fabrication for cost effective near-net shape manufacturing / K.M. Taminger, R.A. Hafley // 139 specialists meeting on cost effective manufacture via net shape processing. Amsterdam (The Netherlands): NATO. – 2006. – pp.16.1-16.10.
14. Graff, K.F. Very high power ultrasonic additive manufacturing (vhpua) for advanced materials / K.F. Graff, M. Short, M. Norfolk // Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, USA. – 2010. – pp. 82-89.
15. Koroteev, A.O. Additive technology for creating bulk metal products based on arc welding with pulsed reverse supply of filler material / A.O. Koroteev, V.P. Dolyachko, V.P. Kulikov // Bulletin of the Belarusian-Russian University. - 2019. - No. 4 (65). – C. 15-25.
16. Dickens, P.M. Rapid prototyping using 3-D welding / P.M. Dickens et al. // Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, USA. – 1992. – pp. 280-290.
17. Spencer, J.D. Rapid prototyping of metal parts by three-dimensional welding / J.D. Spencer, P.M. Dickens, C.M. Wykes // Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture. – 1998. – pp.175-182, DOI:10.1243/0954405981515590.
18. Ribero, A.F. Rapid prototyping process using metal directly / A.F. Ribero, J. Norrish // Solid Freeform Fabrication Proceedings. – 1996. – pp. 249-256.
19. Kazanas, P. et al. Fabrication of geometrical features using wire and arc additive manufacture / P. Kazanas et al. // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture. – 2012. – pp. 1042-1051. DOI: 10.1177/0954405412437126
20. Xiong, J. Forming appearance analysis in multi-layer single-pass GMAW-based additive manufacturing / J. Xiong, G.J. Zhang, W.H. Zhang // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2015. – pp. 1767-1776. DOI: 10.1007/s00170-015-7112-4
21. Wang, H. Rapid prototyping based on variable polarity gas tungsten arc welding for a 5356 aluminium alloy / H. Wang, R. Kovacevic // Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture. – 2001. – pp. 1519-1527. DOI: 10.1243/0954405011519420

22. Xiong, J. Adaptive control of deposited height in GMAW-based layer additive manufacturing / J. Xiong, G.J. Zhang // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2014. – pp. 962-968, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2013.11.014, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2013.11.014
23. Xiong, J. Online measurement of bead geometry in GMAW-based additive manufacturing using passive vision / J. Xiong, G.J. Zhang // *Measurement Science and Technology*. – 2013. – pp. 5103. DOI: 10.1088/0957-0233/24/11/115103
24. Yang, D. Forming characteristics of thin-wall steel parts by double electrode GMAW based additive manufacturing / D. Yang, C. He, G. Zhang // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2016. – Vol. 227. – pp. 153-160. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2015.08.021
25. Gu, J.L. The strengthening effect of inter-layer cold working and post-deposition heat treatment on the additively manufactured Al-6.3Cu alloy / J.L. Gu et al. // *Materials Science and Engineering A-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*. – 2016. – pp. 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2015.10.101>
26. Manongharan, G. Experimental Study of Disruption of Columnar Grains During Rapid Solidification in Additive Manufacturing / G. Manongharan et al. // *JOM*. – 2016. – pp. 842-849. DOI: 10.1007/s11837-015-1800-2
27. Bermingham, M.J. Controlling the microstructure and properties of wire arc additive manufactured Ti-6Al-4V with trace boron additions / M.J. Bermingham et al. // *Acta Materialia*. – 2015. – pp. 289-303.
28. Wang, F.D. Morphology investigation on direct current pulsed gas tungsten arc welded additive layer manufactured Ti6Al4V alloy / F.D. Wang, S. Williams, M. Rush // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2011. – pp. 597-603. <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3299-1>
29. Cong, B.O. Influence of CMT Process on Porosity of Wire Arc Additive Manufactured Al-Cu Alloy / B.O. Cong, J.L. Ding // *Rare Metal Materials and Engineering*. – 2014. – pp. 3149-3153.
30. Cong, B.O. Effect of arc mode in cold metal transfer process on porosity of additively manufactured Al-6.3%Cu alloy / B.O. Cong, J.L. Ding, S. Williams // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – Feb. 2015. – pp. 1593-1606. DOI: 10.1007/s00170-014-6346-x
31. Abe, T. Dissimilar metal deposition with a stainless steel and nickel-based alloy using wire and arc-based additive manufacturing / T. Abe, H. Sasahara // *Precision Engineering- Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology*. – Jun. 2016. – pp. 387-395, DOI: 10.1016/j.precisioneng.2016.03.016.
32. Liu, L.M. Additive manufacturing of steel-bronze bimetal by shaped metal deposition: interface characteristics and tensile properties / L.M. Liu et al. // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – Dec. 2013. – pp. 2131-2137. DOI: 10.1016/j.precisioneng.2016.03.016
33. Ding D.H. Bead modelling and implementation of adaptive MAT path in wire and arc additive manufacturing / D.H. Ding et al. // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. – Jun. 2016. – pp. 32-42. DOI: 10.1016/j.rcim.2015.12.004
34. Ding D.H. Towards an automated robotic arc-welding-based additive manufacturing system from CAD to finished part / D.H. Ding et al. // *Computer-Aided Design*. – Apr. 2016. – pp. 66-75. DOI: 10.1016/j.cad.2015.12.003
35. Ding, J. Thermo-mechanical analysis of Wire and Arc Additive Layer Manufacturing process on large multi-layer parts / J. Ding et al. // *Computational Materials Science*. – Dec. 2011. – pp. 3315- 3322. DOI: 10.1016/j.commatsci.2011.06.023
36. Ding, D.H. A multi-bead overlapping model for robotic wire and arc additive manufacturing (WAAM) / D.H. Ding et al. // *Robotics and Computer- Integrated Manufacturing*. – Feb. 2015. – pp. 101-110. DOI: 10.1016/j.commatsci.2011.06.023
37. Ding, D.H. Process planning strategy for wire and arc additive manufacturing / D.H. Ding et al. // *Robotic Welding, Intelligence and Automation, RWIA'2014*. – 2015. – pp. 437-450. DOI: 10.1016/j.commatsci.2011.06.023
38. Xiong, J. Bead geometry prediction for robotic GMAW-based rapid manufacturing through a neural network and a second-order regression analysis / J. Xiong et al. // *Journal of Intelligent Manufacturing*. – Feb. 2014. – pp. 157-162. DOI: 10.1007/s10845-012-0682-1
39. Xiong, J. Forecasting process parameters for GMAW-based rapid manufacturing using closed-loop iteration based on neural network / J. Xiong et al. // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – Oct. 2013. – pp. 743-751. DOI: 10.1007/s00170-013-5038-2.

Kuznetsov Maxim Aleksandrovich
Yurga Institute of Technology
(Affiliate) National Research Tomsk
Polytechnic University, Yurga
Ph.D. (Engineering), Associate
Professor of Welding Department
652055, Yurga, Leningrad St., 26
Ph.: (3822) 70-17-77, Вн. тел.: 6733
E-mail: kvznechik85@mail.ru

Il'yashchenko Dmitry Pavlovich
Yurga Institute of Technology
(Affiliate) National Research Tomsk
Polytechnic University, Yurga
Ph.D. (Engineering), Associate
Professor of Welding Department
652055, Yurga, Leningrad St., 26
Institute of Strength Physics and
Materials Science of Siberian Branch
Russian Academy of Sciences,
Tomsk
Research assistant of Construction
Materials Laboratory
634055, Tomsk, Academic Ave., 2/4
Ph.: (3822) 70-17-77, Вн. тел.: 6731
E-mail: mita8@rambler.ru

Verkhoturova Elena Victorovna
Irkutsk National Research Technical
University, Irkutsk
Ph.D. (Engineering), Research
assistant of Research Department
664074, Irkutsk, Lermontova St. 83
Ph.: (3952) 40-51-52
E-mail: vev.irk@mail.ru

Е.А. ЗВЯГИНА, С.А. ТОЛСТЫХ, Л.Н. КУРДЮМОВА, Д.Г. ПРОХОРОВ, А.В. ШАМРИН

ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛИ

Аннотация. В статье проведён анализ данных по импульсной лазерной сварке, позволяющий определить наиболее значимые факторы и их уровни при организации и проведении полного факторного эксперимента с последующим построением математической модели с целью осуществления управления процессом в производственных условиях для получения качественного сварного соединения.

Ключевые слова: лазерная сварка, металл, тонкий лист, импульс, параметры процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазерная сварка металла [Электронный ресурс] // Сеть профессиональных контактов специалистов сварки - URL: <http://weldzone.info/technology/lazernaya-svarka/857-lazernaya-svarka-metalla> (дата обращения: 31.01.2022 г.);
2. Лазерная сварка: преимущества и недостатки, характеристика, виды, дефекты [Электронный ресурс] // LaserStore - URL: <https://laser-tor.ru/blog/vse-o-lazernoi-svarke/> (дата обращения: 31.01.2022 г.)
3. Лазерная сварка [Электронный ресурс] // AutoWelding.ru - URL: <http://www.autowelding.ru/index/0-29> (дата обращения: 31.01.2022 г.)
4. Лазерная сварка [Электронный ресурс] // ROBURinternational - URL: <https://www.robur.ru/articles/lazernaya-svarka#>: (дата обращения: 31.01.2022 г.)
5. Григорьянц, А.Г. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. пособие для вузов / А.Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров; под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 664 с.
6. Курдюмова, Л.Н. Управление процессами импульсной дуговой сварки / Л.Н. Курдюмова, О.В. Дорофеев, В.С. Курдюмов // Региональная научно-практическая конференция им. А.Г. Шипунова: материалы VI региональной научно-практической конференции (29 марта 2019 г., г. Ливны). – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2019. – с. 65 – 68.

Звягина Елена Александровна
Орловский государственный
университет
имени И.С. Тургенева
(Ливенский филиал),
кандидат технических наук
Тел: +79155056212
zeam@yandex.ru

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

Толстых Сергей Алексеевич
зам генерального директора по
модернизации и внедрению новых
технологий,
АО «Промприбор»,
Россия, Ливны

Прохоров Денис Геннадьевич
Орловский государственный
аграрный университет
имени Н.В. Парахина,
г. Орёл
Тел: +79065690078
denis.prohorov.1996@mail.ru

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

E.A. ZVYAGINA, S.A. TOLSTIKH, L.N. KURDYUMOVA,
D.G. PROKHOROV, A.V. SHAMRIN

OPTIMIZATION OF THE LASER WELDING PROCESS WITH FORMING A BLANK PART

Abstract. The article analyzes data on pulsed laser welding, which makes it possible to determine the most significant factors and their levels when organizing and conducting a full factorial experiment, followed by the construction of a mathematical model in order to control the process in production conditions to obtain a high-quality welded joint

Keywords: laser welding, metal, thin sheet, impulse, process parameters.

BIBLIOGRAPHY

1. Laser welding of metal [Electronic resource] // Network of professional contacts of welding specialists - URL: <http://weldzone.info/technology/lazernaya-svarka/857-lazernaya-svarka-metalla> (date of access: 31.01.2022);
2. Laser welding: advantages and disadvantages, characteristics, types, defects [Electronic resource] // LaserStore - URL: <https://laser-tor.ru/blog/vse-o-lazernoi-svarke/> (date of access: 31.01.2022.);
3. Laser welding [Electronic resource] // AutoWelding.ru - URL: <http://www.autowelding.ru/index/0-29> (date of access: 31.01.2022);
4. Laser welding [Electronic resource] // ROBURinternational - URL: <https://www.robur.ru/articles/lazernaya-svarka#>; (date of access: 31.01.2022);
5. Grigoryants, A.G. Technological processes of laser processing: Proc. allowance for universities / A.G. Grigoryants, I. N. Shiganov, A. I. Misyurov; ed. A.G. Grigoryants. - M.: Publishing house of MSTU im. N. E. Bauman, 2006. - 664 p.
6. Kurdyumova, L.N. Control of pulsed arc welding processes / L.N. Kurdyumova, O.V. Dorofeev, V.S. Kurdyumov // Regional scientific-practical conference. A.G. Shipunov: materials of the VI regional scientific and practical conference (March 29, 2019, Livny). - Oryol: OSU named after I.S. Turgenev, 2019. - p. 65-68.

Zvyagina Elena Alexandrovna
Oryol State University named
after I.S. Turgenev, candidate of
technical sciences
Tel: +79155056212
zeam@yandex.ru

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

Tolstykh Sergey Alekseevich,
Deputy General Director
modernization and introduction
of new technologies,
Prompribor JSC,
Russia, Livny

Prokhorov Denis Gennadievich
Orel State Agrarian University
named after N.V. parakhina,
Orel
Tel: +79065690078
denis.prohorov.1996@mail.ru

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
Tel: +79038806976
larissa_kur@mail.ru

УДК 621.9

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-352-2-58-63

Д.А. КАЗЬМИН, А.С. ТАРАПАНОВ, Л.Ю. ФРОЛЕНКОВА, А.А. ЧЕРЕПЕНЬКО

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАРЕЗАНИЯ КРУГОВЫХ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС

Аннотация. В статье показано, что нарезание цилиндрических колес с круговым зубом существенно отличается от технологии обработки стандартных цилиндрических колес. Установлено, что, учитывая трудоемкость их получения, целесообразно использовать виртуальные модели формообразования и комплексного метода анализа и управления лезвийной обработки. Представлены этапы разработки математической модели процесса нарезания цилиндрического колеса, позволяющий визуализировать формообразование зубьев детали, и приведены примеры использования предлагаемого метода.

Ключевые слова: круговая передача, математическое отображение, виртуальное представление процесса обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васин В.А. Обработка арочных зубьев цилиндрических колес / В.А. Васин, М.Н. Бобков, Г.М. Шейнин // СТИН.2005. - № 4. - С. 26-29.
2. Виноградов А.Н. Точность нарезания колес с арочными зубьями / А.Н. Виноградов, С.И. Липатов, Р.Б. Марголит // «Технология машиностроения», № 9, 2013. С.23-27.
3. Шаблинская Т.Н. Комбинированный способ обработки цилиндрических зубчатых колес с круговым зубом // Материалы международного научного симпозиума технологов-машиностроителей «Наукоемкие и виброволновые технологии обработки деталей высокотехнологичных изделий». – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2018 г. – С. 82-85.

4. Макалова О.А. Оборудование и инструмент для изготовления колес с арочными зубьями / О.А. Макалова, П.С. Рубин // Научно-технический журнал: Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии – №3-3(293), 2012г.

5. Паршин А.Н. Разработка методов анализа, синтеза зацепления и изготовления арочных цилиндрических зубчатых колес [текст]: автореферат канд. техн. наук / Паршин А.Н. Москва, 2008.- 16 с.

Казьмин Денис Андреевич
ОГУ имени И.С. Тургенева,
аспирант кафедры машиностроения
302026, г. Орел, ул. Московская, д. 34
Тел.: +7906570738
e-mail: kazmin96@inbox.ru

Фроленкова Лариса Юрьевна
ОГУ имени И.С. Тургенева, д.т.н.
зав. кафедры машиностроения
302026, г. Орел, ул. Московская, д. 34
Тел.: + 79065681118
e-mail: larafrilenkova@yandex.ru

Тарапанов Александр Сергеевич
ОГУ имени И.С. Тургенева, д.т.н.
профессор кафедры машиностроения
302026, г. Орел, ул. Московская, д. 34
Тел.: + 79202877774
e-mail: awj@list.ru

Черепенько Аркадий Анатольевич
ОГУ имени И.С. Тургенева, д.т.н.
профессор кафедры машиностроения
302026, г. Орел, ул. Московская, д. 34
Тел.: + 79536186677
e-mail: arkan@nxt.ru

D.A. KAZMIN, A.S. TARAPANOV, L.Yu. FROLENKOVA, A.A. CHEREPENKO

MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS OF PRE-CUTTING CIRCULAR TEETH OF CYLINDRICAL WHEELS

Abstract. *The article shows that the cutting of cylindrical wheels with a circular tooth differs significantly from the processing technology of standard cylindrical wheels. It was found that given the complexity of obtaining it is advisable to use virtual models of shaping and a comprehensive method of analysis and control of blade processing. The stages of developing a mathematical model of the process of cutting a cylindrical wheel that allows you to visualize the shaping of the teeth of the part are presented and examples of using the proposed method are given.*

Keywords: *circular transmission, mathematical mapping, virtual representation of the processing process.*

BIBLIOGRAPHY

1. Vasin V.A. Processing of arched teeth of cylindrical wheels / V.A. Vasin, M.N. Bobkov, G.M. Scheinin // MATO. 2005. - No. 4. - P. 26-29.
2. Vinogradov A.N. The accuracy of cutting wheels with arched teeth / A.N. Vinogradov, S.I. Lipatov, R.B. Margolit // "Technology of mechanical engineering", No. 9, 2013. P.23-27.
3. Shablinskaya T.N. Combined method of machining cylindrical gears with circular tooth // Materials of the international scientific symposium of machine-building technologists "High-tech and vibrating technologies for processing parts of high-tech products". - Rostov-on-Don: DSTU, 2018 - P. 82-85.
4. Makalova O.A. Equipment and tools for making wheels with arched teeth / O.A. Makalova, P.S. Rubin // Scientific and technical journal: Fundamental and applied problems of engineering and technology - №3-3 (293), 2012.
5. Parshin A.N. Development of methods for analysis, synthesis of gearing and manufacturing of arched spur gears [text]: Ph.D. tech. Sciences / Parshin A.N. Moscow, 2008.- 16 p.

Kazmin Denis Andreevich
OSU named I.S. Turgenev
graduate student of the department of mechanical
engineering
Oryol Str. Moskovskaya d. 34
Tel.: +7906570738
E-mail: kazmin96@inbox.ru

Frolenkova Larisa Yurievna
OSU named after I.S. Turgeneva, Doctor of Technical
Sciences, Professor, Department of Mechanical Engineering
Oryol Str. Moskovskaya d. 34
Tel.: + 79065681118
E-mail: larafrilenkova@yandex.ru

Tarapanov Alexander Sergeevich
OSU named after I.S. Turgeneva, Doctor of Technical
Sciences, Professor, Department of Mechanical
Engineering
Oryol Str. Moskovskaya d. 34
Tel.: + 79202877774

Cherepenko Arkady Anatolievich
OSU named after I.S. Turgeneva, Doctor of Technical
Sciences, Professor, Department of Mechanical Engineering
Oryol Str. Moskovskaya d. 34
Tel.: + 79536186677
E-mail: arkan@nxt.ru

Е. Ю. КРУПЕНЯ, Л.Ю. ФРОЛЕНКОВА, А. П. ШИШКИНА, Е. П. КРЫГИНА

ФИНИШНАЯ ОПЕРАЦИЯ ВИБРАЦИОННОЙ ПРОТИРКИ ДЕТАЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕД ОРГАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Аннотация. В статье показана актуальность и научная значимость применения процесса вибрационной протирки на финишных этапах обработки деталей. Представлены результаты теоретических и практических исследований протирки обработанных деталей после виброабразивной отделочной обработки с применением СОЖ. Предложена модель производительности процесса протирки, расширяющая технологические возможности виброобработки средами органического происхождения.

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

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

Шишкина Антонина Павловна
Технологический институт (филиал)
ДГТУ в г. Азове
г. Азов Ростовской области
ул. Промышленная, 1.
Тел.: +79185280788
Shishkina56646@yandex.ru

Фроленкова Лариса Юрьевна
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, доктор технических
наук, профессор кафедры машиностроения
г. Орёл ул. Московская д. 34
Тел.: +79103017320
larafrilenkova@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.YU. FROLENKOVA, A.P. SHISHKINA, E.P. KRYGINA

FINISHING OPERATION OF VIBRATION WIPING OF PARTS WITH THE USE OF ORGANIC MEDIA

Abstract. The article shows the relevance and scientific significance of the use of the vibration wiping process at the final stages of processing parts. The results of theoretical and practical studies of the wiping of machined parts after vibro-abrasive finishing treatment with the use of coolant are presented. A model of the performance of the wiping process is proposed, which expands the technological capabilities of vibration treatment with organic media.

Keywords: vibration wiping, organic granules, liquid removal, threshold amplitude.

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.SCSC 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

Shishkina Antonina Pavlovna
Institute of Technology(branch) DSTU in Azov,
Azov, Rostov region,
Promyshlennaya str., 1.
Tel.: +79185280788
Shishkina56646@yandex.ru

Frolenkova Larisa Yurievna
Oryol State University named after I.S.
Turgeneva, Doctor of Technical Sci.,
Professor of the Department of Mechanical Engineering
Oryol st. Moscow, 34
Tel.: +79103017320
larafrilenkova@yandex.ru

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

УДК 621.923

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-352-2-70-74

А.В. НЕМЕНКО, М.М. НИКИТИН

ФИНИШНАЯ ОБРАБОТКА ВНЕОСЕВОГО ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ЗЕРКАЛА

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

Ключевые слова: финишная обработка, внеосевой параболоид, шлифование, полирование, направленный изгиб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максutow Д.Д. Астрономическая оптика/ Д.Д. Максutow// Л.: Наука, 1979 – 395с.
2. Алешин Б.С. Оптические приборы наблюдения, обработки и распознавания объектов в сложных условиях// Б.С. Алешин, А.В. Бондаренко, В.Г. Волков, Э.С. Драб, Л.М. Цибулькин// М.: Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, 1999. – 140 с.
3. Галимов Г.К. Антенны телескопов, систем космической связи и радиолокации. Том 4./Г.К. Галимов – М.: Адвансед Солюшнз, 2013. – 362с.
4. Каширин В.И. Основы формообразования оптических поверхностей: курс лекций / В.И. Каширин// Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2006.
5. Неменко А.В. Применение упругих деформаций к изготовлению параболического зеркала/ А.В. Неменко, М.М. Никитин //Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2020. № 3 (341). С. 11-20.
6. Хромов В.Г. Оптимизация кольцевой разгрузки при изготовлении деталей с поверхностями второго порядка/В.Г. Хромов, А.В. Неменко, М.М. Никитин//Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел, 2019. №4–2(336), с. 4 – 11.
7. Справочник по строительной механике корабля./Бойцов Г.В., Палий О.М., Постнов В.А., Чувиковский В.С. – В трех томах. Том 2. Пластины. Теория упругости, пластичности и ползучести. Численные методы. – Л.:Судостроение, 1982г. – 464 с
8. Заказнов Н.П. Изготовление асферической оптики./Н.П. Заказнов, В.В. Горелик – М.: Машиностроение, 1978. – 248 с.

Неменко Александра Васильевна
ФГАОУ «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая механика и машиноведение»
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. +79788330519

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

A.V. NEMENKO, M.M. NIKITIN

OFF-AXIS FINISHING PARABOLIC MIRROR

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: *finishing, off-axis paraboloid, grinding, polishing, directional bending.*

BIBLIOGRAPHY

1. Maksutov D.D. Astronomicheskaja optika/ D.D. Maksutov// L.: Nauka, 1979 – 395s.
2. Aleshin B.S. Opticheskie pribory nabljudeniya, obrabotki i raspoznavaniya ob#ektov v slozhnykh usloviyakh// B.S. Aleshin, A.V. Bondarenko, V.G. Volkov, Ye.S. Drab, L.M. Cibul'kin// M.: Gosudarstvennyy nauchno-issledovatel'skiy institut aviacionnykh sistem, 1999. – 140 s.
3. Galimov G.K. Antenny teleskopov, sistem kosmicheskoy svyazi i radiolokacii. Tom 4./G.K. Galimov – M.: Advansed Soljushnz, 2013. – 362s.
4. Kashirin V.I. Osnovy formoobrazovaniya opticheskikh poverhnostej: kurs lekcij / V.I. Kashirin// Ekaterinburg: GOU VPO UGTU – UPI, 2006.
5. Nemenko A.V. Primenenie uprugih deformacij k izgotovleniju parabolicheskogo zerkala/ A.V. Nemenko, M.M. Nikitin //Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tehnologii. 2020. № 3 (341). S. 11-20.
6. Hromov V.G. Optimizacija kol'cevoj razgruzki pri izgotovlenii detalej s poverhnostjami vtorogo porjadka/V.G. Hromov, A.V. Nemenko, M.M. Nikitin//Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tehnologii. – Orel, 2019. №4–2(336), s. 4 – 11.
7. Spravochnik po stroitel'noj mehanike korablja./Bojcov G.V., Palij O.M., Postnov V.A., Chuvikovskij V.S. – V treh tomah. Tom 2. Plastiny. Teorija uprugosti, plastichnosti i polzuchesti. Chislennyye metody. – L.:Sudostroenie, 1982g. – 464 s
8. Zakaznov N.P. Izgotovlenie asfericheskoy optiki./N.P. Zakaznov, V.V. Gorelik – M.: Mashinostroenie, 1978. – 248 s.

Nemenko Alexandra Vasilyevna

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

Nikitin Michael Mikhailovich

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

УДК 621.794

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-352-2-75-82

В.Д. КОВАЛЕВ, В.П. ПАНКОВ, В.П. ГЕРАСИМОВ, М.В. СТЕПАНОВА

ИССЛЕДОВАНИЯ ЛОПАТОК ТУРБИН АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация. *В статье представлены законы окисления и значения потери массы жаропрочных сплавов от температуры и времени выдержки. Приведены результаты исследований работы лопаток турбин в процессе эксплуатации и в результате длительных испытаний, на основании которых выработаны требования к покрытиям лопаток турбин авиационных газотурбинных двигателей.*

Ключевые слова: *газотурбинный двигатель, жаропрочный сплав, лопатка турбины, покрытие, связующее покрытие, термобарьерный слой, долговечность.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панков В.П. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Технологические процессы производства и ремонта летательных аппаратов и авиационных двигателей: Учебное пособие/ В.П.Панков, А.Л.Бабаян, В.И. Табырца, А.А.Швецов Краснодарское ВВАУЛ им. А.К.Серова.- Краснодар, 2020. - С.328.

2. Медведев В.И., Панков В.П. Инновационный потенциал вуза. В сб.: X Международная научно-практическая конференция молодых ученых, посвященная 59-ой годовщине полета Ю.А. Гагарина в космос. Сборник научных статей. Краснодар, 2020. С. 45-51.

3. Панков В.П. Исследование характеристик износостойкости покрытий и наплавленных материалов для восстановления изделий из чугуна // Упрочняющие технологии и покрытия. 2017. № 9 (153). С. 387-392.

4. Панков В.П. Плазменные комбинированные покрытия поршневых колец – инструмент повышения ресурса автотракторных ДВС/ В.П.Панков, А.И. Шаталов, В.Е.Жидков // Автомобильная промышленность. - 2014.- № 6.- С. 32-36.

5. Панков В.П., Бабаян А.Л., Швецов А.А., Куликов М.В., Нефедовский В.А. Исследование закономерностей формирования диффузионных покрытий на современных жаропрочных никелевых сплавах// Ползуновский вестник.2020.№1.С.124-129.

6. Панков В.П., Ковалев В.Д. Исследование диффузионных покрытий, нанесенных методов хромоалитирования в вакууме// Упрочняющие технологии и покрытия.2020.Т16. № 2(182). С. 85-92.

7. Панков В.П., Арустамова И.С., Степанова М.В., Фурсина А.Б., Арутюнян М.М. Исследование закономерностей формирования диффузионных покрытий, нанесенных хромоалитированием в вакууме// Упрочняющие технологии и покрытия.2020.Т16. № 10 (190). С. 460-467.

8. Петрушин Н.В., Висик Е.М., Горбовец М.А., Назаркин Р.М. Структурно-фазовые характеристики и механические свойства монокристаллов жаропрочных никелевых ренийсодержащих сплавов с интерметаллидно-карбидным упрочнением// Металлы.2016. №4. С.57-70.

9. Румянцев С.В., Панков В.П. Повышение надежности и ресурса авиационных газотурбинных двигателей – важная научная и экономическая задача ВКА. В сборнике: Инновационные технологии в образовательном процессе. Сборник материалов XXI Всероссийской заочной научно-практической конференции. Краснодар, 2020.С.8 -18.

Ковалев Вячеслав Данилович

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

Панков Владимир Петрович

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

Герасимов Владимир Павлович

Кандидат технических наук, доцент
Доцент кафедры информационных систем
Ставропольского ГАУ
355017, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12
Тел. 8(928)265 74 14
E-mail: gvp-05@mail.ru

Степанова Марина Валерьевна

Старший преподаватель Краснодарского ВВАУЛ
350090, г. Краснодар, ул. Дзержинского, 135
Тел. 8(900)266-98-15
E-mail: mvsv4967@mail.ru

V.D. KOVALEV, V.P. PANKOV, V.P. GERASIMOV, M.V. STEPANOVA

STUDIES OF TURBINE BLADES OF AVIATION GAS TURBINE ENGINES DURING OPERATION

Abstract. *The laws of oxidation and the values of mass loss of heat-resistant alloys from temperature and holding time are presented. Studies of the operation of turbine blades during operation and as a result of long-term tests have been carried out on the basis of which requirements for coatings have been developed.*

Keywords: *gas turbine engine, heat-resistant alloy, turbine blade, coating, thermal barrier layer, binder coating, durability.*

BIBLIOGRAPHY

1. Pankov V.P. Materials science and technology of structural materials. Technological processes of production and repair of aircraft and aircraft engines: Textbook / V.P.Pankov, A.L.Babayan, V.I. Tabyrtsa, A.A.Shvetsov Krasnodar VVAUL named after A.K.Serov.- Krasnodar, 2020. - p.328.

2. Medvedev V.I., Pankov V.P. Innovative potential of the university. In the collection: X International Scientific and Practical Conference of Young Scientists dedicated to the 59th anniversary of Yuri Gagarin's flight into space. Collection of scientific articles. Krasnodar, 2020. pp. 45-51.

3. Pankov V.P. Investigation of wear resistance characteristics of coatings and deposited materials for the restoration of cast iron products // Hardening technologies and coatings. 2017. No. 9 (153). pp. 387-392.

4. Pankov V.P. Plasma combined coatings of piston rings – a tool for increasing the resource of automotive internal combustion engines/ V.P.Pankov, A.I. Shatalov, V.E.Zhidkov // Automotive industry. -2014.- No. 6.- pp. 32-36.

5. Pankov V.P., Babayan A.L., Shvetsov A.A., Kulikov M.V., Nefedovsky V.A. Investigation of the regularities of the formation of diffusion coatings on modern heat-resistant nickel alloys// Polzunovsky vestnik.2020.No.1.pp.124-129.

6. Pankov V.P., Kovalev V.D. Investigation of diffusion coatings applied by chromoalitising methods in vacuum// Strengthening technologies and coatings.2020.T16. No. 2(182). pp. 85-92.

7. Pankov V.P., Arustamova I.S., Stepanova M.V., Fursina A.B., Harutyunyan M.M. Investigation of the regularities of the formation of diffusion coatings deposited by chromoalizing in vacuum// Strengthening technologies and coatings.2020.T16. No. 10 (190). pp. 460-467.

8. Petrushin N.V., Visik E.M., Gorbovets M.A., Nazarkin R.M. Structural and phase characteristics and mechanical properties of single crystals of heat-resistant nickel rhenium-containing alloys with intermetallic-carbide hardening// Metals.2016. No. 4. pp.57-70.

9. Rumyantsev S.V., Pankov V.P. Improving the reliability and resource of aviation gas turbine engines is an important scientific and economic task of the VKA. In the collection: Innovative technologies in the educational process. Collection of materials of the XXI All-Russian Correspondence scientific and Practical conference. Krasnodar, 2020.p.8 -18.

Kovalev Vyacheslav Danilovich

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

Pankov Vladimir Petrovich

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

Gerasimov Vladimir Pavlovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Associate Professor of the Department of Information
Systems of the Stavropol State Agrarian University
355017, Stavropol, Zootechnical Lane, 12
Tel. 8(928)265-74-14
E-mail: gvp-05@mail.ru

Stepanova Marina Valerievna

Senior teacher of Krasnodar VVAUL
350090, Krasnodar, Dzerzhinskogo str. 135
Tel. 8(918)861-09-36
E-mail: mvs4967@mail.ru

МАШИНОВЕДЕНИЕ И МЕХАТРОНИКА

УДК 62-231.1

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-352-2-83-93

Ф.Ф. ХАБИБУЛЛИН, Р.Т. ИСЛАМОВ, А.В. ТАЖИБАЕВА, В.Н. КРЫМОВА

КИНЕМАТИКА ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧЕК ПРОСТРАНСТВЕННОГО 5R МЕХАНИЗМА

Аннотация. В данной статье представлено объединение двух пространственных 4R механизмов, в которых угол скрещивания осей станины (α_2) равен 90° . На основании полученного механизма произведены расчеты угловой скорости выходного звена механизма и углового ускорения характерной точки. Определена зависимость угла поворота ведомого звена в зависимости от угла поворота ведущего звена, а также зависимости угловой скорости и углового ускорения, полученных на основании анализа пространственного 4R механизма. Построены графики, описывающие угловую скорость балансира и угловое ускорение характерной точки, а также графики положения радиус-векторов, графики скорости и ускорения характерной точки. Особое внимание уделено линейной скорости и ускорению, которые необходимы для определения прочностных расчетов элементов привода и выявления процессов, выполняемых характерными точками.

Ключевые слова: пространственный механизм, nR механизм, привод, кривошип.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Готлиб, Б.М. Введение в специальность «Мехатроника и робототехника»: курс лекций/ Б.М. Готлиб, А.А. Вакалюк. – Екатеринбург: УрГУПС, 2012. – 134 с.
2. Александров А.В. Мехатроника и системы управления. Изд-во: Московский Политех. Москва. 2021. 123 с.
3. Подураев Ю.В. Основы мехатроники: Учебное пособие. - М.: МГТУ «СТАНКИН», 2000 - 80 с.
4. Т. Исии, И. Симояма, Х. Иноуэ, М.Хиросэ, Н. Накадзима Мехатроника: Пер. с япон./ Исии Т., Симояма И., М 55 Иноуэ Х. и др. - М.: Мир, 1988. - 318 с.
5. Мудров А.Г., Сахапов Р.Л., Синтез шестизвеного пространственного механизма, Техника и технология транспорта. 2019. № S (13). С. 18.
6. Хабибуллин Ф.Ф., Мудров А.П., Яруллин М.Г. Определение динамических параметров пространственного 4R механизма: Современное машиностроение. Наука и образование. 2019. № 8. С. 341-354.7. Хабибуллин Ф.Ф., Дихтяренко А.А. Проектирование приводов мехатронных устройств на базе пространственных 4R механизмов: Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности.

Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых. Редколлегия: М.Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. Могилев, 2021. С.79.

8. Мудров А.Г., Сахапов Р.Л., Шестизвенный шарнирно-рычажный механизм; патент на изобретение RU 2713662 С1; Россия, заявка № 2019112698 от 25.04.2019, дата опубликования 06.02.2020.

9. Иванов А.Г., Воробьева Н.С., Синтез оптимальных алгоритмов перемещения рабочего органа роботизированного пропольщика для точечного удаления сорняков, В сборнике: НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ АПК И СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ В XXI ВЕКЕ. материалы Национальной научно-практической конференции. Волгоград, 2021. С. 72-78.

10. Воробьева Н.С., Стабилизация пространственного положения манипулятора параллельно-последовательной структуры, Известия Волгоградского государственного технического университета. 2021. № 9 (256). С. 17-21.

11. Иванов А.Г., Воробьева Н.С., Кинематика движения манипуляционного механизма роботизированного пропольщика при выполнении технологического процесса прополки, Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4 (64). С. 452-463.

12. Абиляева К. Ж., Дуздибаева А. С. Проблемы в современной российской космонавтике // Проблемы современной экономики: материалы IV Международная научная конференция (г. Челябинск, февраль 2015 г.). — Челябинск: Два комсомольца, 2015. — С. 29-31.

13. Зеленский А. А., Илюхин Ю. В., Грибков А. А. Память-центрические модели систем управления движением промышленных роботов // Вестник Московского авиационного института. 2021. Т. 28. № 4. С. DOI: 10.34759/vst-2021-4-245-256

Хабибуллин Фаниль Фаргатович

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева - КАИ, г.Казань

кандидат технических наук, доцент КНИТУ-КАИ

420000, г.Казань, ул. Карла Маркса, 10

Тел.: 89196326896

E-mail: fanil_arisk@mail.ru

Тажигаева Александра Валерьевна

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева - КАИ, г.Казань

ассистент КНИТУ-КАИ

420000, г.Казань, ул. Карла Маркса, 10

Тел.: 89872231720

E-mail: AVTazhibayeva@kai.ru

Исламов Ринат Тагирович

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева - КАИ, г.Казань

аспирант КНИТУ-КАИ

420000, г.Казань, ул. Карла Маркса, 10

Тел.: 89083499799

E-mail: Rinat.Islamov@tpprt.ru

Крымова Виктория Николаевна

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева - КАИ, г.Казань

студент КНИТУ-КАИ

420000, г.Казань, ул. Карла Маркса, 10

Тел.: 89655822151

E-mail: vikulka_18_01@mail.ru

F.F. KHABIBULLIN, R.T. ISLAMOV, A.V. TAZHIBAYEVA, V.N. KRYMOVA

KINEMATICS OF CHARACTERISTIC POINTS OF SPATIAL 5R OF THE MECHANISM

Abstract. This article presents a combination of two spatial 4R mechanisms in which the angle of intersection of the axes of the bed (α_2) is 90°. Based on the obtained mechanism, calculations of the angular velocity of the output link of the mechanism and the angular acceleration of the characteristic point are made. The dependence of the angle of rotation of the driven link depending on the angle of rotation of the leading link, as well as the dependence of the angular velocity and angular acceleration obtained based on the analysis of the spatial 4R mechanism, is determined. Graphs describing the angular velocity of the balancer and the angular acceleration of the characteristic point are constructed, as well as graphs of the position of radius vectors, graphs of the velocity and acceleration of the characteristic point. Particular attention is paid to linear velocity and acceleration, which are necessary to determine the strength calculations of the drive elements and identify the processes performed by characteristic points.

Keywords: Spatial mechanism, nR mechanism, drive, crank.

BIBLIOGRAPHY

1. Gotlib, B.M. Vvedeniye special'nost' «Mekhatronika i robototekhnika»: kurslekcij/ B.M. Gotlib, A.A. Vakalyuk. – Ekaterinburg: UrGUPS, 2012. – 134 [2] s.

2. Aleksandrov A.V. Mehatronika i sistemi upravleniya. Izd. vo_ Moskovskii Politeh. Moskva. 2021. 123 s.
3. Poduraev Yu.V. Osnovi mehatroniki_ Uchebnoe posobie. _ M. _ MGTU «STANKIN»_ 2000 _ 80 s.
4. T. Isii _ I. Simoyama _ H. Inoue _ M. Hirose _ N. Nakadzima Mehatronika _ Per. s yapon./ Isii T. _ Simoyama I. _ M 55 Inoue H. i dr. _ M. _ Mir _ 1988. _ 318 s.
5. Mudrov A.G. _ Sahapov R.L. _ Sintez shestizvennogo prostranstvennogo mehanizma _ Tehnika i tehnologiya transporta. 2019. № S _ 13,. S. 18.
6. Habibullin F.F. _ Mudrov A.P. _ Yarullin M.G. Opredelenie dinamicheskikh parametrov prostranstvennogo 4R mehanizma _ Sovremennoe mashinostroenie. Nauka i obrazovanie. 2019. № 8. S. 341_3547. Habibullin F.F., Dihtyarenko A.A. Proektirovanie privodov mekhatronnykh ustroystv na baze prostranstvennykh 4R mekhanizmov: Novye materialy, oborudovanie i tekhnologii v promyshlennosti. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii molodykh uchenykh. Redkollegiya: M.E. Lustenkov (gl. red.) [i dr.]. M.: MNTU. 2021. S. 79.
7. Sahapov R.L., SHestizvennyy sharnirno-rychazhnyy mekhanizm; patent na izobretenie RU 2713662 C1; Rossiya, zayavka № 2019112698 ot 25.04.2019, data opublikovaniya 06.02.2020.
9. Ivanov A.G., Vorob'eva N.S., Sintez optimal'nykh algoritmov peremeshcheniya rabocheho organa robotizirovannogo propol'shchika dlya tochechnogo udaleniya sornyakov, V sbornike: NAUCHNOE OBOSNOVANIE STRATEGII RAZVITIYA APK I SEL'SKIH TERRITORIY V XXI VEKE. materialy Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii. Volgograd, 2021. S. 72-78.
10. Vorob'eva N.S., Stabilizatsiya prostranstvennogo polozheniya manipulyatora parallel'no-posledovatel'noy struktury, Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2021. № 9 (256). S. 117-121.
11. Ivanov A.G., Vorob'eva N.S., Kinematika dvizheniya manipulyacionnogo mekhanizma robotizirovannogo propol'shchika pri vypolnenii tekhnologicheskogo processa propolki, Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2021. № 4 (64). S. 452-461.
12. Abdal'baeva K. ZH., Duzdibaeva A. S. Problemy v sovremennoy rossijskoj kosmonavtike // Problemy sovremennoy ekonomiki: materialy IV Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya (g. CHelyabinsk, fevral' 2015 g.). — CHelyabinsk: Dva komsomol'ca, 2015. — S. 29-31.
13. Zelenskij A. A., Ilyuhin YU. V., Gribkov A. A. Pamyat'-centricheskie modeli sistem upravleniya dvizheniem promyshlennykh robotov // Vestnik Moskovskogo aviacionnogo instituta. 2021. T. 28. № 4. S. DOI: 10.34759/vst-2021-4-245-256

Khabibullin Fanil Fargatovich

Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev - KAI, Kazan
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of KNITU-KAI
420000, Kazan, Karl Marx str., 10
Ph.: 89196326896
E-mail: fanil_arsk@mail.ru

Tazhibaeva Alexandra Valeryevna

Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev - KAI, Kazan
KNITU-KAI Assistant
420000, Kazan, Karl Marx str., 10
Ph.: 89872231720
E-mail: AVTazhibaeva@kai.ru

Islamov Rinat Tagirovich

Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev - KAI, Kazan
graduate student of KNITU-KAI
420000, Kazan, Karl Marx str., 10
Ph.: 89083499799
E-mail: Rinat.Islamov@tpprt.ru

Krymova Victoria Nikolaevna

Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev - KAI, Kazan
KNITU-KAI student
420000, Kazan, Karl Marx str., 10
Ph.: 89655822151
E-mail: vikulka_18_01@mail.ru

УДК 621.82

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-352-2-94-97

Ю.С. КОРНЕЕВ

СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ ПУСКОЗАЩИТНЫХ МУФТ В ПРИВОДАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Аннотация. В статье приведена система уравнений, описывающая работу двухмассовой динамической модели технологической машины, оборудованной пускозащитной муфтой. Исследования показали влияние как момента сопротивления машины, так и резкое изменение момента инерции движущих масс на изменение кинематических параметров.

Ключевые слова: муфта, момент, машина

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коськин В.Н., Кобцев Б.Г. Синтез центробежной пусковой муфты // Известия вузов. Машиностроение. – 1978. - №7. – с. 38-43.
2. Поляков В.С., Коськин В.Н., Кобцев Б.Г. Выбор размеров муфты со свободными грузами и определение момента ее включения // Вестник машиностроения. – 1975. - №8. – с.44-47.
3. Коськин В.Н., Корнеев Ю.С. Оптимизация параметров фрикционных муфт с центробежным механизмом включения / Научные труды Московского инс-та приборостроения (Орловский филиал). – 1992. – Т. 1. – с. 82-85.
4. Поляков В.С., Барбаш И.Д., Ряховский О.А. Справочник по муфтам. – Л.: Машиностроение, 1979. – 344 с.
5. Вильнер С.С. Теоретические и экспериментальные исследования процесса включения фрикционных муфт. – Труды семинара по теории машин и механизмов: АН СССР, 1950, т. 9, вып. 34.
6. Кирдяшев Ю.Н. Экспериментально-теоретическое исследование процесса включения и коэффициентов трения дисковых муфт сцепления при повышенных скоростях скольжения: Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Л.: ЛПИ, 1953. – 16 с.
7. Untersuchung von Kosten beim Einsatz von Anlauf und Sicherheitskupplungen. Getz – Mot – Antriebstelem. 1972, 11 n 1.

Корнеев Юрий Степанович

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент

302020, Орел, Наугорское шоссе, 29

Тел.: 41-98-96

YU.S. KORNEEV

SYNTHESIS OF START-UP CLUTCHES IN DRIVES TECHNOLOGICAL MACHINES

Abstract. *The article presents a system of equations describing the operation of a two-mass dynamic model of a technological machine equipped with a start-up clutch. Studies have shown the effect of both the moment of resistance of the machine and the sharp change in the moment of inertia of the driving masses on the change in kinematic parameters.*

Keywords: *clutch, moment, machine.*

BIBLIOGRAPHY

1. Koskin V.N., Kobtsev B.G. Sintez tsentrobeznoy puskovoy mufty // Izvestiya vuzov. Mashinostroyeniye. – 1978. - №7. – с. 38-43.
2. Polyakov V.S., Koskin V.N., Kobtsev B.G. Vybora razmerov mufty so svobodnymi gruzami i opredeleniye momenta yeye vkluyeniya // Vestnik mashinostroyeniya. – 1975. - №8. – с. 44-47.
3. Koskin V.N., Korneyev YU.S. Optimizatsiya parametrov friktsionnykh muft s tsentrobeznyim mekhanizmom vkluyeniya // Nauchnyye trudy Moskovskogo ins-ta priborostroyeniya (Orlovskiy filial). – 1992. – Т. 1. – с. 82-85.
4. Polyakov V.S., Barbash I.D., Ryakhovskiy O.A. Spravochnik po muftam. – L.: Mashinostroyeniye, 1979. – 344 s.
5. Vilner S.S.. Teoreticheskiye i eksperimentalnyye issledovaniya protsessa vkluyeniya friktsionnykh muft. – Trudy seminarov po teorii mashin i mekhanizmov: AN SSSR, 1950, t. 9, vyp. 34.
6. Kiryashev YU.N. Eksperimentalno-teoreticheskoye issledovaniye protsessa vkluyeniya I koeffitsiyentov treniya diskovykh muft stsepleniya pri povyshennykh skorostyakh skolzheniya: Avtoref. dis. na soiskaniye uchenoy stepeni kand. tekhn. nauk. – L.: LPI, 1953. – 16 s.
7. Untersuchung von Kosten beim Einsatz von Anlauf und Sicherheitskupplungen. Getz – Mot – Antriebstelem. 1972, 11 n 1.

Korneev Yuri Stepanovich

Oryol State University. I.S. Turgenev, Oryol

Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor

302020, Oryol, Naugorsk highway, 29

Tel.: 41-98-96

Р.Н. ПОЛЯКОВ, М.Э. БОНДАРЕНКО, А.В. ГОРИН, Н.В. ТОКМАКОВ

СТЕНД ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОМБИНИРОВАННОЙ ОПОРЫ

Аннотация. В статье рассматривается стенд для экспериментальных исследований комбинированной опоры. Представлены экспериментальные исследования жесткости и демпфирования комбинированной опоры. Данное исследование необходимо с целью проверки работоспособности комбинированной опоры, а также верификации разработанной ранее математической модели. В работе представлено описание исследуемой опоры и экспериментального стенда. Описана информационно-измерительная система сбора и обработки информации. Результаты испытаний сравнивались с численными результатами математического моделирования.

Ключевые слова: жесткость, демпфирование, комбинированная опора, экспериментальный стенд.

Работа выполнена при работе над проектом в рамках Постановления Правительства РФ №218 «Создание цифровой системы мониторинга, диагностики и прогнозирования состояния технического оборудования с применением технологии искусственного интеллекта на базе отечественных аппаратных и программных средств» по договору на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ №4869-2081 от 19 апреля 2021 г. с ЗАО «ЭЛСИЭЛ».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаевик, Д.Т. Подшипниковые опоры современных машин / Д.Т. Гаевик // М.: Машиностроение, 1985. – 248 с.
2. Горюнов, Л.В. Особенности работы совмещенной опоры в системе авиационного ГТД / Л.В. Горюнов, В.В. Такмовцев, В.С. Гагай, А.Н. Королев, Л.И. Бурлаков // Вестник Казан. гос. техн. ун-та им. А.Н. Туполева, 1998. – № 3. – С. 12-14.
3. Ханович М.Г. Опоры жидкостного трения и комбинированные опоры. – Л.: Машгиз, 1960. – 272 с.
4. Experimental evaluation of the series hybrid rolling bearing / R.J. Parker, D.P. Fleming, W.J. Anderson, H.H. Coe. – NASA TN D-7011, 1970. – 27 p.
5. Butner M.F. Space shuttle main engine long-life bearings / M.F. Butner, B.T. Murphy. – NASA CR179455, 1986. – 163 p.
6. Nielson C.E. Hybrid hydrostatic/ball bearings in highspeed turbomachinery. – NASA CR-168124, 1982. – 386 p.
7. Harnoy A. Hydro-Roll: A novel bearing design with superior thermal characteristics / A. Harnoy, M. Khonsary // Tribology transactions, 1996. – Vol. 39. – PP. 455-461.
8. Dun L. Static characteristics of a new hydrodynamic-rolling hybrid bearing / L. Dun, Z. Wanhua, L. Bingheng, Z. Juan // Tribology International, 2012. – Vol. 48. – PP. 87-92.
9. Jeong S. Effects of eccentricity and vibration response on high-speed rigid rotor supported by hybrid foil-magnetic bearing // S. Jeong, Y. Lee // Journal of mechanical engineering science, 2015. – Vol. 230. – PP. 994-1006.
10. Feng K. Experimental evaluation of the structure characterization of a novel hybrid bump-metal mesh foil bearing / K. Feng, Y. Liu, X. Zhao, W. Liu // Journal of tribology, 2015. – Vol. 138.
11. Delgado A. Experimental identification of dynamic force coefficients for a 110 mm compliantly damped hybrid gas bearing / A. Delgado // Journal of engineering for gas turbines and power, 2014. – Vol. 137.
12. Поляков Р.Н. Основы теории и методология расчета комбинированных опор роторов: дис. д-ра. техн. наук: 05.02.02 / Поляков Роман Николаевич. – 2017. – 439 с.
13. Бондаренко М.Э., Поляков Р.Н. Комбинированная опора // Патент РФ №2561199. 2014. Бюл. №24.
14. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. – М.: Книга по Требованию, 2013 – 321 с.
15. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в науке и технике. – Москва, 1981. – 182 с.
16. Лавренчик В.Н. Постановка физического эксперимента и статистическая обработка его результатов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 272 с.
17. Peng J. Calculation of stiffness and damping coefficients for elastically supported gas foil bearings / J. Peng, M. Carpino // Transactions of the ASME, 1993. – Vol. 115. – PP. 20-27.
18. Jeong S. Rigid mode vibration control and dynamic behavior of hybrid foil-magnetic bearing turbo power / S. Jeong, D. Jeon, Y. Lee // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2017. – Vol. 139.
19. Tian. Y. Structural stiffness and damping coefficients of a multileaf foil bearing with bump foils underneath / Y.

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
Тел. +79038819381
E-mail: romanpolak@mail.ru

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
Тел. +7910 2600267
E-mail: gorin57@mail.ru

Бондаренко Максим Эдуардович

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл
канд. техн. наук, старший преподаватель
кафедры мехатроники, механики и робототехники
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79038819381
E-mail: maxbondarenko22@yandex.ru

Токмаков Никита Владимирович

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

R.N. POLYAKOV, M.E. BONDARENKO, A.V. GORIN, N.V. TOKMAKOV

STAND FOR EXPERIMENTAL STUDIES COMBINED SUPPORT

Abstract. *The paper considers questions of experimental research of stiffness and damping of a hybrid bearing. This research is required to check adequacy of the developed theoretical basics and applicability of a high-speed rotor to real operation. The paper presents description of the hybrid bearing and a test rig, choice of controlled and measured parameters, elements of the control and measurement system. The test results have been compared to numerical results of mathematical modeling.*

Keywords: stiffness, damping, hybrid bearing, test rig.

BIBLIOGRAPHY

1. Gaevik, D.T. Podshipnikovye opory sovremennyh mashin / D.T. Gaevik // M.: Mashinostroenie, 1985. – 248 s.
2. Goryunov, L.V. Osobennosti raboty sovmeshchennoj opory v sisteme aviacionnogo GTD / L.V. Goryunov, V.V. Takmovcev, B.C. Gagaj, A.N. Korolev, L.I. Burlakov // Vestnik Kazan. gos. tekhn. un-ta im. A.N. Tupoleva, 1998. – № 3. – S. 12-14.
3. Hanovich M.G. Opory zhidkostnogo treniya i kombinirovannye opory. – L.: Mashgiz, 1960. – 272 s.
4. Experimental evaluation of the series hybrid rolling bearing / R.J. Parker, D.P. Fleming, W.J. Anderson, H.H. Coe. – NASA TN D-7011, 1970. – 27 p.
5. Butner M.F. Space shuttle main engine long-life bearings / M.F. Butner, B.T. Murphy. – NASA CR179455, 1986. – 163 p.
6. Nielson C.E. Hybrid hydrostatic/ball bearings in highspeed turbomachinery. – NASA CR-168124, 1982. – 386 p.
7. Harnoy A. Hydro-Roll: A novel bearing design with superior thermal characteristics / A. Harnoy, M. Khonsary // Tribology transactions, 1996. – Vol. 39. – PP. 455-461.
8. Dun L. Static characteristics of a new hydrodynamic–rolling hybrid bearing / L. Dun, Z. Wanhua, L. Bingheng, Z. Juan // Tribology International, 2012. – Vol. 48. – PP. 87-92.
9. Jeong S. Effects of eccentricity and vibration response on high-speed rigid rotor supported by hybrid foil-magnetic bearing // S. Jeong, Y. // Journal of mechanical engineering science, 2015. – Vol. 230. – PP. 994-1006.
10. Feng K. Experimental evaluation of the structure characterization of a novel hybrid bump-metal mesh foil bearing / K. Feng, Y. Liu, X. Zhao, W. Liu // Journal of tribology, 2015. – Vol. 138.
11. Delgado A. Experimental identification of dynamic force coefficients for a 110 mm compliantly damped hybrid gas bearing / A. Delgado // Journal of engineering for gas turbines and power, 2014. – Vol. 137.
12. Polyakov R.N. Osnovy teorii i metodologiya rascheta kombinirovannyh opor rotorov: dis. d-ra. tekhn. nauk: 05.02.02 / Polyakov Roman Nikolaevich. – 2017. – 439 s.
13. Bondarenko M.E., Polyakov R.N. Kombinirovannaya opora // Patent RF №2561199. 2014. Byul. №24.
14. SHenk H. Teoriya inzhenernogo ehksperimenta. – M.: Kniga po Trebovaniyu, 2013 – 321 s.
15. Dzhonson N. Statistika i planirovanie ehksperimenta v nauke i tekhnike. – Moskva, 1981. – 182 s.
16. Lavrenchik V.N. Postanovka fizicheskogo ehksperimenta i statisticheskaya obrabotka ego rezul'tatov. – M.: EHnergoatomizdat, 1986. – 272 s.

17. Peng J. Calculation of stiffness and damping coefficients for elastically supported gas foil bearings / J. Peng, M. Carpino // Transactions of the ASME, 1993. – Vol. 115. – PP. 20-27.
18. Jeong S. Rigid mode vibration control and dynamic behavior of hybrid foil-magnetic bearing turbo power / S. Jeong, D. Jeon, Y. Lee // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2017. – Vol. 139.
19. Tian. Y. Structural stiffness and damping coefficients of a multileaf foil bearing with bump foils underneath / Y. Tian, Y. Sun, L. Yu // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2014. – Vol. 136.

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
Ph.: ++79038819381
E-mail: romanpolak@mail.ru

Gorin Andrei Vladimirovich

Orel State University named after I.S. Turgenev
candidate of technical Sciences, associate professor of
the department mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79102600267
E-mail: gorin57@mail.ru

Bondarenko Maxim Eduardovich

Orel State University
candidate of technical Sciences, assistant of the
Department mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79102600267
E-mail: maxbondarenko22@yandex.ru

Tokmakov Nikita Vladimirovich

Orel State University named after I.S. Turgenev
student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79102606508
E-mail: stalker.20122@yandex.ru

УДК 621.822

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-352-2-105-111

А.В. КОРНАЕВ, А.С. ФЕТИСОВ, М.А. ТОКМАКОВА, И.В. РОДИЧЕВА

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОПОРЫ СКОЛЬЖЕНИЯ

Аннотация. В работе изложены результаты анализа комплексного теоретико-экспериментального исследования магнитореологической опоры скольжения. Представлены общий вид имитационной модели, экспериментальный стенд для натурных испытаний и информационно-измерительная система на основе *Briel&Kjaer*. Приведены данные параллельных опытов, данные виброперемещений ротора по оси X. Показаны результаты экспериментальных исследований, проведенных при помощи системы виброакустических измерений *Briel&Kjaer*. Описаны амплитудно-частотные характеристики системы. Даны рекомендации по дальнейшему развитию и применению концепции магнитореологической опоры подшипника скольжения.

Ключевые слова: подшипник, скольжение, система управления, параметры, магнитореологическая смазка.

Работа подготовлена в рамках выполнения проекта РФФИ № 19-38-90259 «Исследование динамики роторов на подшипниках скольжения при смазке реомагнитными жидкостями».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Krishnkant Sahu. A Simulation Study on the Behavior of Magnetorheological Fluid on Herringbone Grooved Hybrid Slot-entry Bearing / Krishnkant Sahu, Satish C. Sharma // Tribology Transactions. – 2019. - Vol. 62, Issue. 6. – P. 1099-1118. DOI: <https://doi.org/10.1080/10402004.2019.1649775>.
2. Lampaert S.G.E. Experimental results on a hydrostatic bearing lubricated with a magnetorheological fluid / S.G.E. Lampaert, R.A.J. van Ostayen // Current Applied Physics. – 2019. - Vol. 19 – P. 1441–1448.
3. Xiaohu Wang. Dynamic characteristics of magnetorheological fluid lubricated journal bearing and its application to rotor vibration control / Xiaohu Wang, Hongguang Li, Ming Li, Huiyu Bai, Guang Meng, Hua Zhang // jve international ltd. journal of vibroengineering. - 2015. – Vol.17 (4). – P. 1912-1927.
4. Dimitrios A. Bompos CFD simulation of magnetorheological fluid journal bearings / Dimitrios A. Bompos, Pantelis G. Nikolakopoulos // Simulation Modelling Practice and Theory. – 2011. - Vol.19. – P. 1035–1060.
5. H. Urreta. Hydrodynamic bearing lubricated with magnetic fluids / H. Urreta, Z. Leicht, A. Sanchez, A. Agirre, P. Kuzhir, G. Magnac // Journal of Intelligent Material Systems and Structures. – 2009. - Vol. 0. – P.9. DOI: 10.1177/1045389X09356007
6. Dimitrios A. Bompos Experimental and analytical investigations of dynamic characteristics of magnetorheological and nanomagnetorheological fluid film journal bearing / Dimitrios A. Bompos, Pantelis G. Nikolakopoulos. // Proceedings of ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition (GT2014). - June 16 – 20, 2014, Düsseldorf, Germany. – P.8.Xiaohu Wang. Rotordynamic coefficients of a controllable magnetorheological fluid lubricated floating ring bearing / Xiaohu Wang, Hongguang Li*, Guang Meng // Tribology International. – 2017. - Vol.114. – P. 1–14

7. Xiaohu Wang. Stiffness and Damping Properties of (Semi) Floating Ring Bearing Using Magnetorheological Fluids as Lubricant / Xiaohu Wang, Hongguang Li, Wen Lu, Guang Meng // Journal of Tribology. – 2017. - Vol. 139. – P. 11.
8. Xiaohu Wang. Dynamic characteristics of magnetorheological fluid lubricated journal bearing and its application to rotor vibration control / Xiaohu Wang, Hongguang Li, Ming Li, Huiyu Bai, Guang Meng, Hua Zhang // jve international ltd. journal of vibroengineering. - 2015. – Vol.17 (4). – P. 1912-1927.
9. Фетисов А.С. Опора скольжения с изменяемыми динамическими характеристиками: результаты моделирования и верификация полученных результатов / А.С. Фетисов, А.В. Корнаев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2021. – №2 (346). – С. 140-146.
10. Фетисов А.С. Экспериментальный стенд для исследования геомагнитных опор скольжения / Фетисов А.С., Запомель Я., Бондаренко М.Э., Тюрин В.О. // Известия Тульского государственного университета. – 2019. - №3. – С. 376-380.
11. Савин, Л.А. Моделирование роторных систем с опорами жидкостного трения: монография / Савин Л.А., Соломин О.В. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 444 с.
- 12.. Harnoy, A Bearing design in machinery: engineering tribology and lubrication / Harnoy, A. - New York, Marcel Dekker, Inc, 2003.
13. Braun, ED Modern Tribology: Results and Prospects / Braun, ED, Buyanovskiy IA, Voronin NA. - Moscow, LKI, 2008.
14. Tipei, N Theory of lubrication with ferrofluids: application to short bearings / Tipei N // Journal of lubrication. – 1982. – №104(4). – С. 510 – 515.
15. Claracq, J properties of magnetorheological fluids / Claracq J, Sarrazin J, Montfort JP // Rheologica Acta. – 2004. – № 43. – С.38–49.
16. Omidbeygi, F Experimental study and CFD simulation of rotational eccentric cylinder in a magnetorheological fluid/ Omidbeygi F, Hashemabadi SH // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2012. - № 324. – С. 2062–2069.
17. Lebeck, A Parallel sliding load support in the mixed friction regime / Lebeck, A // Journal of Tribology, 1987. - № 109(2). – С. 196-205.
18. Meng, Xi On the effect of viscosity wedge in micro-textured parallel surfaces / Meng Xi, Khonsari MM //Tribol. Int. – 2017. - №10. - С.116 – 124.
19. Fogg, A Fluid film lubrication of parallel surface thrust bearings/ Fogg, A // Proc.Inst.Mech.Eng. – 1946. - № 155. – С.49-67.
20. Kornaeв, AV Theoretical premises of thermal wedge effect in fluid-film bearings supplied with a non-homogeneous lubricant/ Kornaeв AV, Savin LA, Kornaeва EP // International Journal of Mechanics. – 2017. - № 11. – С.197-203.

Корнаев Алексей Валерьевич

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

Фетисов Александр Сергеевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
младший научный сотрудник ПНИЛ
«Интеллектуальные технологии мониторинга и
диагностики энергогенерирующего оборудования»
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: fetisov57rus@mail.ru

Токмакова Мария Андреевна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»,
аспирант
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: mashagorina0908@gmail.com

Родичева Ирина Владимировна

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

A.V. KORNAEV, A.S. FETISOV, M.A. TOKMAKOVA, I.V. RODICHEVA

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESULTS OF EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF A MAGNETOREOLOGICAL FLUID-FILM BEARING

Abstract. *The paper presents the results of the analysis of experimental studies of the magnetorheological sliding bearing. A general view of the simulation model, an experimental stand for national tests and a control and measuring system based on Bruel & Kjaer are presented. The data of parallel experiments are given. data of the rotor vibrodisplacements along the X axis. The results of experimental studies carried out using the Bruel & Kjaer vibroacoustic measurement system were revealed. The amplitude-frequency characteristics of the system are described. Recommendations are given for the further development and application of the concept of magneto-rheological plain bearing support.*

Keywords: *research, bearing, sliding, control system, parameters, magnetorheological lubrication.*

BIBLIOGRAPHY

1. Krishnkant Sahu. A Simulation Study on the Behavior of Magnetorheological Fluid on Herringbone Grooved Hybrid Slot-entry Bearing // Krishnkant Sahu, Satish C. Sharma // Tribology Transactions. – 2019. - Vol. 62, Issue. 6. – P. 1099-1118. DOI: <https://doi.org/10.1080/10402004.2019.1649775>.
2. Lampaert S.G.E. Experimental results on a hydrostatic bearing lubricated with a magnetorheological fluid / S.G.E. Lampaert, R.A.J. van Ostayen // Current Applied Physics. – 2019. - Vol. 19 – P. 1441–1448.
3. Xiaohu Wang. Dynamic characteristics of magnetorheological fluid lubricated journal bearing and its application to rotor vibration control / Xiaohu Wang, Hongguang Li, Ming Li, Huiyu Bai, Guang Meng, Hua Zhang // jve international ltd. journal of vibroengineering. - 2015. – Vol.17 (4). – P. 1912-1927.
4. Dimitrios A. Bompas CFD simulation of magnetorheological fluid journal bearings / Dimitrios A. Bompas, Pantelis G. Nikolakopoulos // Simulation Modelling Practice and Theory. – 2011. - Vol.19. – P. 1035–1060.
5. H. Urreta. Hydrodynamic bearing lubricated with magnetic fluids / H. Urreta, Z. Leicht, A. Sanchez, A. Agirre, P. Kuzhir, G. Magnac // Journal of Intelligent Material Systems and Structures. – 2009. - Vol. 0. – P.9. DOI: 10.1177/1045389X09356007
6. Dimitrios A. Bompas Experimental and analytical investigations of dynamic characteristics of magnetorheological and nanomagnetorheological fluid film journal bearing / Dimitrios A. Bompas, Pantelis G. Nikolakopoulos. // Proceedings of ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition (GT2014). - June 16 – 20, 2014, Düsseldorf, Germany. – P.8.Xiaohu Wang. Rotordynamic coefficients of a controllable magnetorheological fluid lubricated floating ring bearing / Xiaohu Wang, Hongguang Li*, Guang Meng // Tribology International. – 2017. - Vol.114. – P. 1–14
7. Xiaohu Wang. Stiffness and Damping Properties of (Semi) Floating Ring Bearing Using Magnetorheological Fluids as Lubricant / Xiaohu Wang, Hongguang Li, Wen Lu, Guang Meng // Journal of Tribology. – 2017. - Vol. 139. – P. 11.
8. Xiaohu Wang. Dynamic characteristics of magnetorheological fluid lubricated journal bearing and its application to rotor vibration control / Xiaohu Wang, Hongguang Li, Ming Li, Huiyu Bai, Guang Meng, Hua Zhang // jve international ltd. journal of vibroengineering. - 2015. – Vol.17 (4). – P. 1912-1927.
9. Fetisov A.S. Sliding bearing with variable dynamic characteristics: modeling results and verification of the obtained results / A.S. Fetisov, A.V. KornaeV // Fundamental and applied problems of engineering and technology. - 2021. - No. 2 (346). - S. 140-146.
10. Fetisov A.S. Experimental stand for the study of geomagnetic sliding bearings / Fetisov A.S., Zapomel Ya., Bondarenko M.E., Tyurin V.O. // Proceedings of the Tula State University. - 2019. - No. 3. – S. 376-380.
11. Savin, L.A. Modeling of rotor systems with fluid friction bearings: monograph / Savin L.A., Solomin O.V. - M.: Mashinostroenie-1, 2006. - 444 p.12.. Harnoy, A Bearing design in machinery: engineering tribology and lubrication / Harnoy, A. - New York, Marcel Dekker, Inc, 2003.
13. Braun, ED Modern Tribology: Results and Prospects / Braun, ED, Buyanovskiy IA, Voronin NA. - Moscow, LKI, 2008.
14. Tipei, N Theory of lubrication with ferrofluids: application to short bearings / Tipei N // Journal of lubrication. – 1982. – №104(4). – C. 510 – 515.
15. Claracq, J properties of magnetorheological fluids / Claracq J, Sarrazin J, Montfort JP // Rheologica Acta. – 2004. – № 43. – C.38–49.
16. Omidbeygi, F Experimental study and CFD simulation of rotational eccentric cylinder in a magnetorheological fluid/ Omidbeygi F, Hashemabadi SH // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2012. - № 324. – C. 2062–2069.
17. Lebeck, A Parallel sliding load support in the mixed friction regime / Lebeck, A // Journal of Tribology, 1987. - № 109(2). – C. 196-205.
18. Meng, Xi On the effect of viscosity wedge in micro-textured parallel surfaces / Meng Xi, Khonsari MM //Tribol. Int. – 2017. - №10. - C.116 – 124.
19. Fogg, A Fluid film lubrication of parallel surface thrust bearings/ Fogg, A // Proc.Inst.Mech.Eng. – 1946. - № 155. – C.49-67.
20. KornaeV, AV Theoretical premises of thermal wedge effect in fluid-film bearings supplied with a non-homogeneous lubricant/ KornaeV AV, Savin LA, KornaeVa EP // International Journal of Mechanics. – 2017. - № 11. – C.197-203.

KornaeV Alexey Valerievich

Orel State University named after I.S. Turgenev
doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the
department of mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: rusakor@inbox.ru

Tokmakova Maria Andreevna

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

Fetisov Alexander Sergeevich

Orel State University named after I.S. Turgenev
junior researcher, PNIL "Intelligent technologies for
monitoring and diagnostics of power generating
equipment"
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: fetisov57rus@mail.ru

Rodicheva Irina Vladimirovna

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

А.С. ФЕТИСОВ, Ю.Н. КАЗАКОВ

АЛГОРИТМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РОТОРНЫМИ МАШИНАМИ С ПОДШИПНИКАМИ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ ПРИ СМАЗКЕ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИМИ ЖИДКОСТЯМИ

Аннотация. В работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований характеристик магнитореологических подшипников жидкостного трения. На основе анализа полученных результатов сделан вывод о перспективности использования методов активного управления рабочими характеристиками магнитореологических подшипников жидкостного трения. Приведено описание алгоритма управления на основе метода глубокого Q-агента.

Ключевые слова: подшипник жидкостного трения, магнитореологическая смазка, управление, методы машинного обучения.

Работа подготовлена в рамках выполнения гранта Президента РФ МД -129.2020.8

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Deckler, D.C. Simulation and Control of an Active Tilting–Pad Journal Bearing / D.C. Deckler, R.J. Veillette, M.J. Braun, F.K Choy. // STLE Tribology Transactions. – 2000. – Vol. 47. – P. 440–458.
2. An, W. Model–Based Control of Active Tilting–Pad Bearings / W. An, C. Zhijun, M.S. de Queiroz // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. – 2008. – Vol. 12, Issue 6. – P. 112–122.
3. Cai, Z. Adaptive control of active tilting–pad bearings / Z. Cai, M.S. de Queiroz, M.M. Khonsari // Proceedings of the American Control Conference. – 2003. – Vol. 4. – P. 2907–2912.
4. Santos, I.F. Design and Evaluation of Two Types of Active Tilting Pad Journal Bearings / I.F. Santos. – The Active Control of Vibration. Mechanical Engineering Publications Limited, 1994. – P. 79–87.
5. Haugaard, M.A. On Controllable Elastohydrodynamic Fluid Film Bearings. DTU Mechanical Engineering, PhD thesis. – 2011. – 182 p.
6. Santos, I. F. Feasibility of Applying Active Lubrication to Reduce Vibration in Industrial Compressors / I. F. Santos, R. Nicoletti, A. Scalabrin // ASME Journal of Engineering for Gas Turbine and Power. – 2004. – Vol. 126, Issue 4. – P. 888– 894.
7. Kytka, P. Application of Feedforward–Disturbance–Compensation and Input– Shaping to a Machine z–Axis in Active Hydrostatic Bearings / P. Kytka, B. Riemann, R. Nordmann // Proceedings of the 9th International Conference on Motion and Vibration Control. – 2000. – P. 445 – 454.
8. Aguirre, G. Dynamic stiffness compensation with active aerostatic thrust bearings / G. Aguirre, F. Al–Bender, H. Van Brussel // Proceedings of the International Conference on Noise and Vibration Engineering. ISMA, Leuven, Belgium. – 2008. – P.105–118.
9. Xiaohu Wang. Dynamic characteristics of magnetorheological fluid lubricated journal bearing and its application to rotor vibration control / Xiaohu Wang, Hongguang Li, Ming Li, Huiyu Bai, Guang Meng, Hua Zhang // jve international ltd. journal of vibroengineering. - 2015. – Vol.17 (4). – P. 1912-1927.
10. Dimitrios A. Bompos CFD simulation of magnetorheological fluid journal bearings / Dimitrios A. Bompos, Pantelis G. Nikolakopoulos // Simulation Modelling Practice and Theory. – 2011. - Vol.19. – P. 1035–1060.
11. H. Urreta. Hydrodynamic bearing lubricated with magnetic fluids / H. Urreta, Z. Leicht, A. Sanchez, A. Agirre, P. Kuzhir, G. Magnac // Journal of Intelligent Material Systems and Structures. – 2009. - Vol. 0. – P.9. DOI: 10.1177/1045389X09356007
12. Фетисов А.С. Опора скольжения с изменяемыми динамическими характеристиками: результаты моделирования и верификация полученных результатов / А.С. Фетисов, А.В. Корнаев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2021. – №2 (346). – С. 140-146.
13. Фетисов А.С. Экспериментальный стенд для исследования геомагнитных опор скольжения / Фетисов А.С., Запомель Я., Бондаренко М.Э., Тюрин В.О. // Известия Тульского государственного университета. – 2019. - №3. – С. 376-380.
14. Фетисов А.С. Магнитореологическая опора скольжения: результаты экспериментальных исследований/ А.С. Фетисов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. №1(345), 2021. С. 77-82.
15. Фетисов А.С. Численное моделирование подшипников жидкостного трения при смазке магнитореологическими жидкостями/ А.С. Фетисов, А.Ю. Бабин, М.Э. Бондаренко, В.О. Тюрин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. № 1(333), 2019. С. 93-100.

16. Fetisov A. Numerical modelling of fluid-film bearing lubricated with magnetorheological fluid / Babin A., Fetisov A., Tyurin V. // Lecture notes in mechanical engineering. 2020. P. 1303-1310.

17. V. Mnih Playing Atari with Deep Reinforcement Learning. / V. Mnih // pp. 1–9, 2013. Available: <http://arxiv.org/abs/1312.5602>.

Фетисов Александр Сергеевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
стажёр-исследователь ПНИЛ «Моделирование
гидромеханических систем»
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: fetisov57rus@mail.ru

Казаков Юрий Николаевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
младший научный сотрудник ПНИЛ
«Интеллектуальные технологии мониторинга и
диагностики энергогенерирующего оборудования»
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: kazakyurii@yandex.ru

A.S. FETISOV, YU.N. KAZAKOV

INTELLIGENT CONTROL ALGORITHM FOR ROTARY MACHINES WITH FLUID-FILM BEARINGS LUBRICATED WITH MAGNETORHEOLOGICAL LIQUIDS

Abstract. *The paper presents the results of a comprehensive theoretical and experimental study of the characteristics of magnetorheological fluid-film bearings. Based on the analysis of the obtained results, a conclusion was made about the prospects for using methods of active control of the performance characteristics of magnetorheological fluid friction bearings. A description of the control algorithm based on the deep Q-agent method is given.*

Keywords: *fluid friction bearing, magnetorheological lubrication, control, machine learning methods.*

BIBLIOGRAPHY

1. Deckler, D.C. Simulation and Control of an Active Tilting–Pad Journal Bearing / D.C. Deckler, R.J. Veillette, M.J. Braun, F.K Choy. // STLE Tribology Transactions. – 2000. – Vol. 47. – P. 440–458.
2. An, W. Model–Based Control of Active Tilting–Pad Bearings / W. An, C. Zhijun, M.S. de Queiroz // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. – 2008. – Vol. 12, Issue 6. – P. 112–122.
3. Cai, Z. Adaptive control of active tilting–pad bearings / Z. Cai, M.S. de Queiroz, M.M. Khonsari // Proceedings of the American Control Conference. – 2003. – Vol. 4. – P. 2907–2912.
4. Santos, I.F. Design and Evaluation of Two Types of Active Tilting Pad Journal Bearings / I.F. Santos. – The Active Control of Vibration. Mechanical Engineering Publications Limited, 1994. – P. 79–87.
5. Haugaard, M.A. On Controllable Elastohydrodynamic Fluid Film Bearings. DTU Mechanical Engineering, PhD thesis. – 2011. – 182 p.
6. Santos, I. F. Feasibility of Applying Active Lubrication to Reduce Vibration in Industrial Compressors / I. F. Santos, R. Nicoletti, A. Scalabrin // ASME Journal of Engineering for Gas Turbine and Power. – 2004. – Vol. 126, Issue 4. – P. 888– 894.
7. Kytka, P. Application of Feedforward–Disturbance–Compensation and Input– Shaping to a Machine z–Axis in Active Hydrostatic Bearings / P. Kytka, B. Riemann, R. Nordmann // Proceedings of the 9th International Conference on Motion and Vibration Control. – 2000. – P. 445 – 454.
8. Aguirre, G. Dynamic stiffness compensation with active aerostatic thrust bearings / G. Aguirre, F. Al–Bender, H. Van Brussel // Proceedings of the International Conference on Noise and Vibration Engineering. ISMA, Leuven, Belgium. – 2008. – P.105–118.
9. Xiaohu Wang. Dynamic characteristics of magnetorheological fluid lubricated journal bearing and its application to rotor vibration control / Xiaohu Wang, Hongguang Li, Ming Li, Huiyu Bai, Guang Meng, Hua Zhang // jve international ltd. journal of vibroengineering. - 2015. – Vol.17 (4). – P. 1912-1927.
10. Dimitrios A. Bompos CFD simulation of magnetorheological fluid journal bearings / Dimitrios A. Bompos, Pantelis G. Nikolakopoulos // Simulation Modelling Practice and Theory. – 2011. - Vol.19. – P. 1035–1060.
11. H. Urreta. Hydrodynamic bearing lubricated with magnetic fluids / H. Urreta, Z. Leicht, A. Sanchez, A. Agirre, P. Kuzhir, G. Magnac // Journal of Intelligent Material Systems and Structures. – 2009. - Vol. 0. – P.9. DOI: 10.1177/1045389X09356007
12. Fetisov A.S. Sliding bearing with variable dynamic characteristics: modeling results and verification of the obtained results / A.S. Fetisov, A.V. Kornaeв // Fundamental and applied problems of engineering and technology. - 2021. - No. 2 (346). - S. 140-146.

13. Fetisov A.S. Experimental stand for the study of geomagnetic sliding bearings / Fetisov A.S., Zapomel Ya., Bondarenko M.E., Tyurin V.O. // Proceedings of the Tula State University. - 2019. - No. 3. – S. 376-380.
14. Fetisov A.S. Magnetorheological journal bearing: experimental study results/ Fetisov A.S. // Fundamental and applied problems of engineering and technology. No. 1(345), 2021. P. 77-82.
15. Fetisov A.S. Numerical modeling of bearings liquid friction in lubrication with magnetorheological liquids/ Babin A., Fetisov A., Tyurin V., Bondarenko M. // Fundamental and applied problems of engineering and technology. No 1(333), 2019. P. 93-100.
16. Fetisov A. Numerical modelling of fluid-film bearing lubricated with magnetorheological fluid / Babin A., Fetisov A., Tyurin V. // Lecture notes in mechanical engineering. 2020. P. 1303-1310.
17. V. Mnih Playing Atari with Deep Reinforcement Learning. / V. Mnih // pp. 1–9, 2013. Available: <http://arxiv.org/abs/1312.5602>.

Fetisov Alexander Sergeevich

Orel State University named after I.S. Turgenev
Junior Researcher, PNIL "Intelligent technologies for
monitoring and diagnostics of power generating
equipment"
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: fetisov57rus@mail.ru

Kazakov Yuri Nikolaevich

Orel State University named after I.S. Turgenev
Junior Researcher, PNIL "Intelligent technologies for
monitoring and diagnostics of power generating
equipment"
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: kazakyurii@yandex.ru

УДК 621.8

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-352-2-119-126

А.В. СЫТИН, А.А. КИРИЧЕК, А.С. КОШЕЛЕВ

МЕХАТРОННЫЙ ПОДШИПНИКОВЫЙ УЗЕЛ ТУРБОГЕНЕРАТОРА ЭНЕРГБЛОКА МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Аннотация. Предложена концепция нового вида упруго-демпферных комбинированных опор скольжения, объединяющая в себе применение реомагнитных жидкостей и многолепестковых подшипников. На основании этого разработана конструкция лепесткового подшипника с электромагнитным воздействием на реомагнитный смазочный материал. Описан принцип работы ферромагнитного демпферного устройства. Сделаны выводы и предложены потенциальные сферы применения устройства.

Ключевые слова: многолепестковый подшипник скольжения, магнитная гидродинамика, реомагнитная жидкость, минимизация износа, магнитная вязкость, динамические характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хохлов, А. Распределенная энергетика в России: потенциал развития / А. Хохлов, Ю. Мельников, Ф. Веселов [и др.]. – Москва: Энергетический центр Московской школы управления СКОЛКОВО, 2017.
2. Иванов, И. В. Перспективы использования газотурбинных технологий в энергетике России / И. В. Иванов, С. А. Струговец, А. Ю. Чечулин. - Уфа: УГАТУ, 2009. – С. 26-31.
3. Турышева, А.В. Автономное энергоснабжение нефтегазодобывающих предприятий / А. В. Турышева // Санкт-Петербург: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. – С. 94-96.
4. Терехин, А. Н. Перспективы развития автономных источников энергоснабжения на базе газопоршневых и газотурбинных двигателей / А. Н. Терехин, И. В. Слесаренко, А. В. Горланов [и др.]. // Двигателестроение. - 2007. - № 1. – С. 30-33.
5. Быстрицкий, Г. Ф. Установки автономного и резервного электроснабжения / Г. Ф. Быстрицкий // Промышленная энергетика. - 2008. - № 2. – С. 13-23.
6. Гусаров, В. А. Создание микрогазотурбинного двигателя на основе турбокомпрессора ДВС / В. А. Гусаров, Я. В. Кулагин // Вестник Саратовского государственного технического университета. - 2015. - № 3. – 70-75 с.
7. Гусаров, В. А. Разработка газотурбинного двигателя, работающего на биогазовом топливе / В. А. Гусаров, Я. В. Кулагин // Вестник федерального научного агроинженерного центра ВИМ. - 2013. - №1. – С. 68-76.
8. Low-Swirl Combustion-An Ultra-Low Emissions Technology for Industrial Heating & Gas Turbines, and Its Potential for Hydrogen Turbines. Robert K. Cheng - Leader, Combustion Technologies Group Environmental Energy Technologies Div. Lawrence Berkeley National Laboratory Berkeley, CA, LBNL, DOE-FE, EPRI. Webcast Nov. 8, 2006;
9. Позняк Э.Л. Колебания роторов. Вибрации в технике. В 6 т. Том 3. Колебания машин, конструкций и их элементов: Под ред. Ф.М. Диментберга, К.С. Колесникова. М.: Машиностроение, 1980. С. 130–189.
10. Захарова Н.Е., Брагин А.Н. Экспериментальное исследование упругой податливости лепестковых газодинамических подпятников. М.: Машиноведение, 1984. №1. С. 99-105.
11. Балусев А.Е. Повышение прочностных и антифрикционных свойств газотермических покрытий на подшипниках скольжения: дис. ... канд. тех. наук: 05.16.01 / Балусев Алексей Евгеньевич. М., 1999. 130 с.

12. Anderson W.J. The series hybrid bearing – A new high speed bearing concept / W.J. Anderson, D.P. Fleming, R.J. Parker // J. Lubr. Technol. Pp. 117-123.
13. Пелевина Д.А. Изучение деформаций поверхности магнитной жидкости в магнитном поле, вызывающих направленное движение / К.А. Бушуева, дисс. канд. физ.-мат. наук. М., 2014. 131 с.
14. Бушуева К. А. Деформация горизонтального слоя феррожидкости на жидкой подложке в магнитном поле: дис. ... канд. физ.-мат. наук / К.А. Бушуева, Пермь, 2014. 109 с.
15. Ghaffari Ali. A review on the simulation and modeling of magnetorheological fluids / Ali Ghaffari, Seyed Hassan Hashemabadi, Mashid Ashtiani // Journal of Intelligent Material Systems and Structures. 2015. Vol. 26 (8). P. 881 – 904.
16. Kordonsky W. Elements and devises based on magnetorheological effect / W. Kordonsky // Journal of Intelligent Material Systems and Structures. 1993. Vol. 4. P. 65 – 69.
17. Tipei, N. Theory of lubrication with ferrofluids: Application to short bearings / Nicolae Tipei / Journal of Lubrication technology. 1982. Vol. 103. P. 510 – 515.
18. Keith D. Weiss Viscoelastic properties of magneto- and electro-rheological fluids / Keith D. Weiss, J. David Carlson, Donald A. Nixon // Journal of Intelligent Material Systems and Structures. 1994. Vol. 5. P. 772 – 775.
19. Osman, T. Static and dynamic characteristics of magnetized journal bearings lubricated with ferrofluids / T.A. Osman, G.S. Nada, Z.S. Safar // Tribology Int. 2001. Vol. 34. P. 369 – 380.
20. Григолюк, Э. И. Контактные задачи теории пластин и оболочек / Э. И. Григолюк, В. М. Толкачев. М.: Машиностроение, 1980. 411 с.
21. Журавлев Ю.Н. Активные магнитные подшипники: теория, расчет, применение / Ю.Н. Журавлев. СПб.: Политехника, 2003. 206 с.

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

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

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

A.V. SYTIN, A.A. KIRICHEK, A.S. KOSHELEV

MECHATRONIC BEARING ASSEMBLY OF A TURBOGENERATOR OF A LOW-POWER POWER UNIT

Abstract. *The concept of a new type of elastic-damper combined sliding supports is proposed, combining the use of rheomagnetic fluids and multi-petal bearings. Based on this, the design of a lobe bearing with an electromagnetic effect on a rheomagnetic lubricant has been developed. The principle of operation of a ferromagnetic damping device is described. Conclusions are drawn and potential applications of the device are proposed.*

Keywords: *multi-petal sliding bearing, magnetic hydrodynamics, geomagnetic fluid, wear minimization, magnetic viscosity, dynamic characteristics.*

BIBLIOGRAPHY

1. Khokhlov, A. Distributed energy in Russia: potential for development / A. Khokhlov, Yu. Melnikov, F. Veselov [et al.]. - Moscow: Energy Center of the Moscow School of Management SKOLKOVO, 2017.
2. Ivanov, I. V. Prospects for the use of gas turbine technologies in the energy sector of Russia / I. V. Ivanov, S. A. Strugovets, A. Yu. Chechulin. - Ufa: UGATU, 2009. - pp. 26-31.
3. Turyshcheva, A.V. Autonomous power supply of oil and gas producing enterprises / A.V. Turyshcheva // St. Petersburg: National Mineral Resources University "Gorny", 2015. - pp. 94-96.
4. Terekhin, A. N. Prospects for the development of autonomous power supply sources based on gas piston and gas turbine engines / A. N. Terekhin, I. V. Slesarenko, A.V. Gorlanov [et al.]. // Engine building. - 2007. - No. 1. - pp. 30-33.
5. Bystritsky, G. F. Installations of autonomous and backup power supply / G. F. Bystritsky // Industrial power engineering. - 2008. - No. 2. - pp. 13-23.
6. Gusarov, V. A. Creation of a micro-gas turbine engine based on an internal combustion engine turbocharger / V. A. Gusarov, Ya. V. Kulagin // Bulletin of the Saratov State Technical University. - 2015. - No. 3 – - 70-75 p.
7. Gusarov, V. A. development of a gas turbine engine operating on biogas fuel / V. A. Gusarov, A. V. Kulagin // Bulletin of the Federal scientific Agroengineering center VIM. - 2013. - No. 1. – P. 68-76.
8. Low-Swirl Combustion-An Ultra-Low Emissions Technology for Industrial Heating & Gas Turbines, and Its Potential for Hydrogen Turbines. Robert K. Cheng - Leader, Combustion Technologies Group Environmental Energy Technologies Div. Lawrence Berkeley National Laboratory Berkeley, CA, LBNL, DOE-FE, EPRI. Webcast Nov. 8, 2006.

9. Poznyak E.L. Rotor oscillations. Vibrations in technology. In 6 t. Volume 3. Oscillations of machines, structures and their elements, ed. by F. M. Dimentberg, K. S. Kolesnikov. Moscow: Mashinostroenie, 1980. S. 130-189.
10. Zakharova N. E., Bragin, A. N. Experimental study of elastic compliance petal gas dynamic thrust. M.: Engineering, 1984. No. 1. S. 99-105.
11. Baluev, A. E. an Increase in strength and antifriction properties of thermal spray coatings on bearings: dis.... Candidate of Technical Sciences: 05.16.01 / Baluyev Alexey Evgenievich. M., 1999. 130 p.
12. Anderson W.J. The series hybrid bearing – A new high speed bearing concept / W.J. Anderson, D.P. Fleming, R.J. Parker // J. Lubr. Technol. Pp. 117-123.
13. Pelevina D.A. Study of deformations of the surface of a magnetic fluid in a magnetic field causing directional motion / K.A. Bushueva, diss. Candidate of Physical and Mathematical Sciences. M., 2014. 131 p.
14. Bushueva K. A. Deformation of a horizontal ferrofluid layer on a liquid substrate in a magnetic field: dis.... Candidate of Physical and Mathematical Sciences / K.A. Bushueva, Perm, 2014. 109 p.
15. Ghaffari Ali. A review on the simulation and modeling of magnetorheological fluids / Ali Ghaffari, Seyed Hassan Hashemabadi, Mashid Ashtiani // Journal of Intelligent Material Systems and Structures. 2015. Vol. 26 (8). P. 881 – 904.
16. Kordonsky W. Elements and devises based on magnetorheological effect / W. Kordonsky // Journal of Intelligent Material Systems and Structures. 1993. Vol. 4. P. 65 – 69.
17. Tipei, N. Theory of lubrication with ferrofluids: Application to short bearings / Nicolae Tipei / Journal of Lubrication technology. 1982. Vol. 103. P. 510 – 515.
18. Keith D. Weiss Viscoelastic properties of magneto- and electro-rheological fluids / Keith D. Weiss, J. David Carlson, Donald A. Nixon // Journal of Intelligent Material Systems and Structures. 1994. Vol. 5. P. 772 – 775.
19. Osman, T. Static and dynamic characteristics of magnetized journal bearings lubricated with ferrofluids / T. A. Osman, G. S. Nada, Z. S. Safar // Tribology Int. 2001. Vol. 34. P. 369 – 380.
20. Grigolyuk, E. I. Contact problems of the theory of plates and shells / E. I. Grigolyuk, V. M. Tolkachev. M.: Mashinostroenie, 1980. 411 p.
21. Zhuravlev Yu.N. Active magnetic bearings: theory, calculation, application / Yu.N. Zhuravlev. SPb.: Polytechnic, 2003. 206 p.

Sytin Anton Valer'evich
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: sytin@mail.ru

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

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

УДК 536.463

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-352-2-127-140

В.И. ЧЕРНЫШЕВ, О.В. ФОМИНОВА

ЭЛЕМЕНТЫ СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. Обоснованы элементы теории поэтапного синтеза линейных систем управления, которые можно использовать для воспроизведения с требуемой динамической точностью циклических сигналов (реакции) посредством моделирования совокупности входных линейных и гармонических воздействий.

На первом этапе синтеза предложено использовать эталонные модели, которые формируются на основе стандартных полиномов Ньютона и Баттерворта и позволяют модернизировать исходную систему управления для обеспечения требуемой динамической точности воспроизведения реакции на единичное ступенчатое воздействие, то есть реакции с соответствующим показателем времени переходного процесса.

Поскольку по логике инверсионных преобразований «вход» и «выход» в линейной системе управления можно поменять местами, то на втором этапе синтеза использовался метод гармонического баланса для нахождения параметров входного корректирующего устройства. В результате этого была обеспечена инвариантность системы управления к изменениям линейных и частотных характеристик входного (желаемого) циклического воздействия. Приведены примеры и программы решения задач поэтапного синтеза систем управления.

Ключевые слова: синтез системы управления, качество переходного процесса, регулятор, корректирующее устройство, эталонная модель, моделирование, метод гармонического баланса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушков, М. А. Система управления техникой с применением технологии VR / М. А. Глушков, М. М. Попова. // Молодой ученый. – 2019. – № 50 (288). – С. 131-133.

2. Макаров, И.М. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов. – М.: Наука. – 2006. – 334 с.
3. Дорф, Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. – М.: Лаб. Базовых Знаний. – 2004. – 831 с.
4. Гайдук, А.Р. Синтез систем с учетом ограничений на управление и переменные состояния / А.Р. Гайдук, В.С. Плаксиенко, А.Э. Кабалам // Математические методы в технике и технологиях. – 2020. – Т. 2. – С. 27-30.
5. Езангина, Т. А. Параметрический синтез линейного регулятора для интервального объекта управления / Т. А. Езангина, С. А. Гайворонский // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2013. – №. 9. – С. 5-9.
6. Васильев, Е.М. Синтез высокоточных систем модального управления / Васильев Е.М., Сердечная Е.А., Таволжанский А.В. // Вестник ВГТУ. – 2020. – Т. 16. – № 5. – С. 56-63.
7. Ким, Д.П. Теория автоматического управления. Линейные системы. Т. 1 / Д.П. Ким. – М.: Физматлит. – 2003. – 288 с.
8. Воронин, А.В. Синтез полиномиальных регуляторов с учетом возмущений / А.В. Воронин, Т.А. Щелканова // Вестник науки Сибири. – 2012. – № 4 (5). – С. 165–170.
9. Sokol, Ye. Synthesis of control schemes of drives system / Ye. Sokol, M. Cherkashenko. – Kharkiv, NTU "KhPI" Publ. – 2018. – 120 p.
10. Дивеев, А.И. Синтез системы управления – задача тысячелетия/ А.И. Дивеев, К.А. Пупков, Е.А. Софронова // Вестник РУДН. – 2011. – № 2. – С. 113-125.
11. Fominova, O.V. Controlled vibration protection systems: optimization and verification / O.V. Fominova, V.I. Chernyshev // Proceedings of 14th international conference on electromechanics and pobotics «Zavalishin's readings». – 2020. – pp. 753-762.
12. Чернышев, В. И. Непрямое управление колебаниями: элементы теории / В. И. Чернышев, Л. А. Савин, О. В. Фомина // Труды СПИИРАН. – 2019. – 18. – С. 148–175.
13. Григорьев, В.В. Синтез систем автоматического управления методом модального управления / В.В. Григорьев, Н.В. Журавлёва, Г.В. Лукьянова, К.А. Сергеев. – С-Пб: СПбГУ ИТМО. – 2007. – 108 с.
14. Погорелов, М.Г. Эталонная модель для синтеза модального регулятора системы автоматического управления / М.Г. Погорелов, Е.И. Понитков, П.Р. Добаринов, Д.В. Федоров, И.А. Филин // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2019. – 8. – С. 173–197.

Чернышев Владимир Иванович

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, г. Орел
Адрес: 302030, Россия, г. Орел,
ул. Московская, д. 77
Канд. техн. наук, доцент кафедры
мехатроники, механики и робототехники
E-mail: chernyshev_46@mail.ru

Фомина Ольга Владимировна

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, г. Орел
Адрес: 302030, Россия, г. Орел,
ул. Московская, д. 77
Канд. техн. наук, доцент кафедры
мехатроники, механики и робототехники
E-mail: garil@list.ru

V.I. CHERNYSHEV, O.V. FOMINOVA

ELEMENTS OF SYNTHESIS OF CONTROL SYSTEMS

Abstract. *The elements of the theory of stage-by-stage synthesis of linear control systems are substantiated, which can be used to reproduce cyclic signals (reactions) with the required dynamic accuracy by modeling a set of input linear and harmonic effects. At the first stage of synthesis, it is proposed to use reference models that are formed on the basis of standard Newton and Butterworth polynomials and allow upgrading the original control system to ensure the required dynamic accuracy of reproducing the response to a single step action, that is, the response with the corresponding transient time indicator. Since, according to the logic of inversion transformations, “input” and “output” in a linear control system can be interchanged, at the second stage of synthesis, the harmonic balance method was used to find the parameters of the input corrective device. As a result, the invariance of the control system to changes in the linear and frequency characteristics of the input (desired) cyclic action was ensured.*

Examples and programs for solving problems of stage-by-stage synthesis of control systems are given.

Keywords: *control system synthesis, transient process quality, controller, corrective device, reference model, modeling, harmonic balance method.*

BIBLIOGRAPHY

1. Glushkov, M. A., Popova M. M. Control system for equipment using VR technology. // Young scientist. – 2019. – No. 50 (288). – S. 131–133.
2. Makarov, I.M. Artificial intelligence and intelligent control systems / I.M. Makarov, V.M. Lokhin, S.V. Manko, M.P. Romanov. – M.: Science. – 2006. – 334 s.
3. Dorf, R. Modern control systems / R. Dorf, R. Bishop. – M.: Lab. Basic Knowledge. – 2004. – 831 s.
4. Gaiduk, A.R. Synthesis of systems taking into account restrictions on control and state variables / A.R. Gaiduk, V.S. Plaksienko, A.E. Kabalan // Mathematical methods in engineering and technology. – 2020. – Т. 2. – S. 27–30.
5. Ezangina, T. A. Parametric synthesis of a linear controller for an interval control object / T. A. Ezangina, S. A. Gaivoronsky // Mechatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. – 2013. – no. 9. – S. 5–9.
6. Vasiliev, E.M. Synthesis of high-precision modal control systems / Vasiliev E.M., Serdechnaya E.A., Tavolzhansky A.V. // Bulletin of VSTU. – 2020. – Т. 16. – No. 5. – S. 56–63.
7. Kim, D.P. Theory of automatic control. Linear systems. Vol. 1 / D.P. Kim. – M.: Fizmatlit. – 2003. – 288 s.
8. Voronin, A.V. Synthesis of polynomial controllers taking into account perturbations / A.V. Voronin, T.A. Shchelkanova // Bulletin of Science of Siberia. – 2012. – No. 4 (5). – S. 165–170.
9. Sokol, Ye. Synthesis of control schemes of drives system / Ye. Sokol, M. Cherkashenko. – Kharkiv, NTU "KhPI" Publ. – 2018. – 120 s.
10. Diveev, A.I. Synthesis of the control system - the task of the millennium / A.I. Diveev, K.A. Pupkov, E.A. Sofronova // Bulletin of RUDN University. – 2011. – No. 2. – S. 113–125.
11. Fominova, O.V. Controlled vibration protection systems: optimization and verification / O.V. Fominova, V.I. Chernyshev // Proceedings of 14th international conference on electromechanics and pobotics "Zavalishin's readings". – 2020. – S. 753–762.
12. V. I. Chernyshev, V. I. Chernyshev, L. A. Savin, and O. V. Fominova, "Indirect control of oscillations: elements of the theory," Proceedings of SPIIRAS. - 2019. – 18. – S. 148–175.
13. Grigoriev, V.V. Synthesis of automatic control systems by modal control / V.V. Grigoriev, N.V. Zhuravleva, G.V. Lukyanova, K.A. Sergeev. - St. Petersburg: St. Petersburg State University ITMO. – 2007. – 108 s.
14. Pogorelov, M.G. Reference model for the synthesis of a modal controller of an automatic control system / M.G. Pogorelov, E.I. Ponitkov, P.R. Dobarinov, D.V. Fedorov, I.A. Owl // News of TulGU. Technical science. – 2019. – 8. – S. 173–197.

Chernyshev Vladimir Ivanovich

Orel State University
named after I.S. Turgenev, Orel
Address: 302030, Russia, Orel,
st. Moscow, d. 77
Doc. tech. Sciences, Professor of the Department
mechatronics, mechanics and robotics
E-mail: chernyshev_46@mail.ru

Fominova Olga Vladimirovna

Orel State University
named after I.S. Turgenev, Orel
Address: 302030, Russia, Orel,
st. Moscow, d. 77
Cand. tech. Sciences, Associate Professor of the
Department mechatronics, mechanics and robotics
E-mail: garil@list.ru

УДК 629.4.027.4: 656.2

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-352-2-141-152

В.И. ВОРОБЬЕВ, С.Н. ЗЛОБИН, О.В. ИЗМЕРОВ,
О.В. ДОРОФЕЕВ, С.О. КОПЫЛОВ, В.Ю. ВЕТРОВ

ВОЗВРАЩАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ДВУХОСНЫХ ТЕЛЕЖЕК МАНЕВРОВЫХ ТЕПЛОВЗОВ С ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧЕЙ

Аннотация. Рассмотрена задача поиска рациональной конструкции опорно-возвращающих устройств двухосных тележек тепловзозов с электропередачей. В результате проведенного анализа установлено, что основным потенциальным недостатком опор кузова тепловзоза ТЭМ23 является противоречие требований к создаваемому ими моменту сопротивления в прямых, и в кривых участках пути, нестабильность величины тормозного момента и возврата тележки в исходное положение, что, в частности, ведет к увеличению энергозатрат. Предложены варианты улучшения динамических свойств тележки как при жестко закрепленном шкворне, так и обеспечивающие поперечные перемещения тележки относительно кузова (гидросочленение тележек, применение роликовых и маятниковых опор). Предложены устройства безынерционного регулирования момента сопротивления повороту и поперечному перемещению тележек. На предложенные устройства авторами получены три патента на полезные модели.

Ключевые слова: тележка локомотива, опоры кузова, динамика локомотива, воздействие на путь, конструирование, снижение энергозатрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проблемы создания перспективной двухосной тележки маневрового тепловоза. / А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, М.Ю. Капустин, О.В. Измеров, Д.Н. Шевченко // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта, Т.79. – № 3. – М., ВНИИЖТ, 2020. – С. 161-170.
2. Повышение надежности экипажной части тепловозов / А. И. Беляев [и др.]. – М.: Транспорт, 1984. – 248 с.
3. Секционная мощность тепловозов и проблемы надежности / Г.А. Моисеев. М., Транспорт, 1978. – 112 с.
4. А.С. СССР № 539798, СССР, Кл. В61F 5/14. Боковая опора локомотива на тележку / В.В. Березин, С.М. Голубятников, Н.И. Григорьев, Л.К. Добрынин, А.И. Кокорев, А.В. Петров, В.А. Пузанов, С.П. Филонов. Оpubл. 05.07.79, бюл. № 25.
5. Влияние конструкции и характеристик горизонтальных связей кузова на динамику тепловоза 2ТЭ121 / С.М. Голубятников, Э.М. Сорочкин, А.В. Петров, И.К. Спирагин, М.Л. Бурка, С.А. Кутепов // Результаты испытаний тепловоза 2ТЭ121. Труды ВНИТИ, вып. 62. – Коломна: ВНИТИ, 1985. – С. 97-108.
6. Исследование динамики локомотивов / С.М. Голубятников, Л.К. Добрынин, А.И. Кокорев и др. // Труды ВНИТИ, вып. 30, Коломна, ВНИТИ, 1967, С. 281-322.
7. Проблемы создания энергосберегающего тягового привода / Д.Я. Антипин, О.В. Измеров, П.Д. Жиров // Вестник Брянского государственного техниче-ского университета. – № 3(100). – Брянск: БГТУ, 2021. – С. 25-38.
8. Основы прокатки металлов в постоянных магнитных полях / Л.Г. Делюсто. – М: Машиностроение, 2005. – 271 с.
9. Патент на полезную модель № 156950, Российская Федерация, МПК В61F 5/14. Боковая опора кузова на тележку / Воробьев В.И., Михальченко Г.С., Измеров О.В., Новиков В.Г., Пугачев А.А., Бондаренко Д.А., Авдащенко В.С., Козловский В.Н. Оpubл. 20.11.2015. Бюл. № 32.
10. Патент на полезную модель № 196110, Российская Федерация, СПК В61F 5/12 (2019.08); F16F 7/09 (2019.08). Фрикционный гаситель горизонтальных колебаний тележки локомотива / Воробьев В.И., Злобин С.Н., Измеров О.В., Дорофеев О.В., Борзенков М.И., Новиков А.С., Новиков С.Н. Оpubл. 17.02.2020, бюл. № 5.
11. Патент на полезную модель № 187450, Российская Федерация, СПК В61F 5/14 (2006.01). Боковая опора кузова на тележку / Воробьев В.И., Измеров О.В., Новиков А.С., Маслов М.А., Космодамианский А.С., Копылов С.О. Оpubл. 06.03.2019. Бюл. № 7.
12. Техническая инновационика. Методы изобретательского творчества: монография / [О.В. Измеров и др.]. – Орел: Госуниверситет – УНПК, 2011. – 213 с.

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

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

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

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

Копылов Степан Олегович
Инженер-конструктор ООО
«ТМХ Инжиниринг»,
г. Брянск
E-mail: kopylov.stepan@gmail.com

Ветров Виталий Юрьевич
Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева,
г. Орел
студент кафедры машиностроения
E-mail: wot_login123@mail.ru

V.I. VOROBIEV, S.N. ZLOBIN, O.V. IZMEROV,
O.V. DOROFEEV, S.O. KOPYLOV, V.YU. VETROV

RETURN DEVICES OF TWO-AXLE BOGIES SHUNTING LOCOMOTIVES WITH ELECTRIC TRANSMISSION

Abstract. *The problem of searching for a rational design of support and return devices of two-axle bogies of diesel locomotives with electric transmission is considered. As a result of the analysis, it was found that the main potential disadvantage of the supports of the body of the locomotive TEM23 is the contradiction of the requirements for the moment of resistance created by them in straight and curved sections of the track, the instability of the value of the braking torque and the return of the trolley to its original position, which, in particular, leads to an increase in energy consumption. Variants of improving the dynamic properties of the trolley both with a rigidly fixed pivot and providing transverse*

movements of the trolley relative to the body (hydraulic coupling of trolleys, the use of roller and pendulum supports) are proposed. Devices for inertia-free control of the moment of resistance to rotation and transverse movement of trolleys are proposed. The authors obtained three utility model patents for the proposed devices.

Keywords: locomotive bogie, body supports, locomotive dynamics, impact on the track, construction, reduction of energy consumption.

BIBLIOGRAPHY

1. Problemy` sozdaniya perspektivnoj dvuxosnoj telezhki manevrovogo teplovoza. / A.S. Kosmodamianskij, V.I. Vorob`ev, M.Yu. Kapustin, O.V. Izmerov, D.N. Shevchenko // Vestnik nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta, T.79, №3. M., VNIIZhT, 2020. – S. 161-170.
2. Povyshenie nadezhnosti e`kipazhnoj chasti teplovozov / A. I. Belyaev [i dr.]. – M.: Transport, 1984. – 248 s.
3. Sekcionnaya moshhnost` teplovozov i problemy` nadezhnosti / G.A. Moiseev. – M.: Transport, 1978. – 112 s.
4. A.S. SSSR № 539798, SSSR, Kl. B61F 5/14. Bokovaya opora lokomotiva na teleshku /V.V. Berezin, S.M. Golubyatnikov, N.I. Grigor`ev, L.K. Dobry`nin, A.I. Kokorev, A.V. Petrov, V.A. Puzanov i S.P. Filo-nov. Opubl. 05.07.79, byul. № 25.
5. Vliyanie konstrukcii i karakteristik gorizonta`l'ny`x svyazej kuzova na dinamiku teplovoza 2TE`121 / S.M. Golubyatnikov, E`.M. Sorochkin, A.V. Petrov, I.K. Spiriyagin, M.L. Burka, S.A. Kutepov // Re-zul'taty` ispy`tanij teplovoza 2TE`121. Trudy` VNITI, vy`p. 62, Kolomna, VNITI, 1985. – S. 97-108.
6. Issledovanie dinamiki lokomotivov / S.M. Golubyatnikov, L.K. Dobry`nin, A.I. Kokorev i dr. // Trudy` VNITI, vy`p. 30, Kolomna, VNITI, 1967. – S. 281-322.
7. Problemy` sozdaniya e`nergosberegayushhego tyagovogo privoda / D.Ya. Antipin, O.V. Izmerov, P.D. Zhironov // Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta № 3(100), Bryansk, BGUTU, 2021 - S. 25-38.
8. Osnovy` prokatki metallov v postoyanny`x magnitny`x polyax / L.G. Delyusto. – M: Mashinostroe-nie, 2005 – 271 s.
9. Patent na poleznuyu model` № 156950, Rossijskaya Federaciya, MPK B61F 5/14. Bokovaya opora kuzova na teleshku / Vorob`ev V.I., Mixal'chenko G.S., Izmerov O.V., Novikov V.G., Pugachev A.A., Bondarenko D.A., Avdashhenko V.S., Kozlovskij V.N. Opubl. 20.11.2015 Byul. № 32.
10. Patent na poleznuyu model` № 196110, Rossijskaya Federaciya, SPK B61F 5/12 (2019.08); F16F 7/09 (2019.08). Frikcionny`j gasitel` gorizonta`l'ny`x kolebanij telezhki lokomotiva. / Vorob`ev V.I., Zlobin S.N., Izmerov O.V., Dorofeev O.V., Borzenkov M.I., Novikov A.S., Novikov S.N. Opubl.17.02.2020, byul. № 5.
11. Patent na poleznuyu model` № 187450, Rossijskaya Federaciya, SPK B61F 5/14 (2006.01). Bokovaya opora kuzova na teleshku. / Vorob`ev V.I., Izmerov O.V., Novikov A.S., Maslov M.A., Kosmodamianskij A.S., Kopylov S.O. Opubl. 06.03.2019. Byul. № 7.
12. Tekhnicheskaya innovacionika. Metody` izobretatel'skogo tvorchestva: monografiya./[O.V. Izmerov i dr.]. – Orel: Gosuniversitet – UNPK, 2011. – 213 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

Dorofeev Oleg Vasilyevich
Synergy University, Moscow
Candidate of technical sciences,
Director of the Department of Digital
Economy
E-mail: da_shy@inbox.ru

Kopylov Stepan Olegovich
Design Engineer of TMH
Engineering LLC,
Bryansk
E-mail:
kopylov.stepan@gmail.com

Vetrov Vitaly Yurievich
Orel State university, Orel
Student at the Department of
“Mechanical engineering”
E-mail: wot_login123@mail.ru

УДК 621.822

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-352-2-153-159

Л.А. САВИН, А.Ю. КОРНЕЕВ, Ю.Н. КАЗАКОВ

СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ РОТОРОВ С КОНИЧЕСКИМИ ПОДШИПНИКАМИ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ

Аннотация: Рассматривается расчет собственных частот вращения роторов с коническими опорами жидкостного трения как один из этапов динамического анализа роторных систем. Приводится алгоритм

расчета коэффициентов жесткости и демпфирования радиально-упорных гидродинамических подшипников. Представлены результаты расчета собственных частот изгибных и крутильных колебаний роторов в программном комплексе АРМ в зависимости от угла конусности подшипников.

Ключевые слова: опоры жидкостного трения, конические подшипники жидкостного трения, моделирование опор жидкостного трения, динамические характеристики роторов.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А.В., Леонтьев М.К. Модальный анализ динамических систем роторов // Известия ВУЗов. Авиационная техника, 2005, №3. С.31-35.
2. Максимов В.А., Баткис Г.С. Трибология подшипников и уплотнений жидкостного трения высокоскоростных турбомашин. – Казань, ФЭН, 1998. – 428 с.
3. Поддубный А.И. К расчету характеристик конических гидростатических подшипников // Исследование и проектирование гидростатических опор и уплотнений быстроходных машин: Сб. науч. тр. – Харьков: ХАИ, 1975. Вып.2.С. 125 – 128.
4. Позняк Э. Л. Колебания роторов // Вибрации в технике. В 6 т. Том 3. Колебания машин, конструкций и их элементов. М.: Машиностроение, 1980. С. 130 – 189.
5. Rao J. S. Rotor dynamics comes of age // Sixth International Conference on Rotor Dynamics: Proceedings. Sydney, Australia: The University of New South Wales, 2002. V. 1. P. 15 – 26.
6. Лунд Д. Разработка понятия динамических коэффициентов радиальных подшипников жидкостного трения // Проблемы трения и смазки. – 1987. – № 1. – С. 40 – 45.
7. Корнеев, А.Ю. Конические подшипники жидкостного трения: монография / А.Ю. Корнеев, Л.А. Савин, О.В. Соломин; под общ. ред. Л.А. Савина.– М.: Машиностроение, 2008.– 172 с.
8. Prabhu, T. Jayachandra; Ganesan, N. Characteristics of conical hydrostatic thrust bearings under rotation // Wear, 1981. – V.73. – № 1. – p. 95-122.
9. Bootsma, J. Spherical and conical spiral groove bearings. P.2. Load capacity and stability. Journal of Lubrication Technology, ASME, v. 97 Ser. F, № 2, 1975, p. 243-249.
10. Li S.B., Ao H.R., Jiang H.Y., Korneev A.Yu., Savin L.A. Steady Characteristics of the Water-Lubricated Conical Bearings [J] // Journal of Donghua University (English Edition), 2012, Vol. 29, No. 2, pp. 115 – 122.

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
Тел. +79102600267
E-mail: savin3257@mail.ru

Корнеев Андрей Юрьевич
ФГБОУ ВО «Орловский
государственный
университет имени И.С. Тургенева»
Декан факультета среднего
профессионального
образования,
Кандидат технических наук, доцент
Тел. 8-953-474-62-62
E-mail: korneev_andrey@mail.ru

Казakov Юрий Николаевич
ФГБОУ ВО «Орловский
государственный университет
имени И.С. Тургенева», г Орёл
Студент
302020, г. Орел, Наугорское
шоссе, 29
Тел. 8 (4862) 41 98 49
E-mail: kazakyurii@yandex.ru

L.A. SAVIN, A. Yu. KORNEEV, Yu. N. KAZAKOV

NATURAL FREQUENCIES OF ROTORS WITH CONICAL BEARINGS OF LIQUID FRICTION

Abstract. *The calculation of the natural rotational speeds of rotors with conical liquid friction supports is considered as one of the stages of the dynamic analysis of rotor systems. An algorithm for calculating the stiffness and damping coefficients of radial thrust hydrodynamic bearings is given. The results of calculating the natural frequencies of bending and torsional vibrations of rotors in the APM software package, depending on the taper angle of the bearings, are presented.*

Keywords: *liquid friction bearings, liquid friction tapered bearings, modeling of liquid friction bearings, dynamic characteristics of rotors.*

BIBLIOGRAPHY

1. Ivanov A.V., Leontiev M.K. Modal analysis of dynamic rotor systems // Izvestiya VUZov. Aviation Engineering, 2005, No. 3. pp.31-35.

2. Maksimov V.A., Batkis G.S. Tribology of bearings and seals of liquid friction of high-speed turbomachines. - Kazan, FENG, 1998 – - 428 p.
3. Poddubny A.I. To the calculation of the characteristics of conical hydrostatic bearings // Research and design of hydrostatic supports and seals of high-speed machines: Sb. nauch. tr. - Kharkiv: KHAi, 1975. Issue 2. pp. 125 - 128.
4. Poznyak E. L. Vibrations of rotors // Vibrations in technology. In 6 t. Volume 3. Vibrations of machines, structures and their elements. Moscow: Mashinostroenie, 1980. pp. 130 - 189.
5. Rao J. S. Rotor dynamics reaches adulthood // Sixth International Conference on Rotor Dynamics: Materials. Sydney, Australia: University of New South Wales, 2002. Vol. 1. pp. 15-26.
6. Lund D. Development of the concept of dynamic coefficients of radial bearings of liquid friction // Problems of friction and lubrication. - 1987. - No. 1. - pp. 40-45.
7. Korneev, A.Yu. Conical bearings of liquid friction: monograph / A.Yu. Korneev, L.A. Savin, O.V. Solomin; under the general editorship of L.A. Savin. - M.: Mechanical Engineering 2008, - 172 gr.
8. Prabhu T. Jayachandra; Ganesan N. Characteristics of conical hydrostatic thrust bearings during rotation // Wear, 1981. - Vol.73. - No. 1. - pp. 95-122.
9. Butsma, J. Spherical and conical bearings with spiral grooves. R.2. Load capacity and stability. Journal of Lubrication Technology, ASME, v. 97 Series F, No. 2, 1975, pp. 243-249.
10. Li S.B., Ao H.R., Jiang H.Yu., Korneev A.Yu., Savin L.A. Stable characteristics of tapered bearings with water lubrication [J] // Journal of Donghua University (English edition), 2012, Volume 29, No. 2, pp. 115-122.

Savin Leonid Alekseevich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
 Doctor of sciences, professor, professor at the department of mechatronics, mechanics and robotics
 302020, Orel, Naugorskoye shosse, 29
 8(4862) 41-98-49
 E-mail: savin3257@mail.ru

Korneev Andrey Yurievich

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

Kazakov Yuri Nikolaevich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
 Student
 302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
 Ph. 8 (4862) 41 98 49
 E-mail: kazakyurii@yandex.ru

ПРИБОРЫ, БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 616 – 079.2

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-352-2-160-167

Е.О. БРЯНСКАЯ

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГНОЙНОГО СОДЕРЖИМОГО НА РЕЗУЛЬТАТ ДИАГНОСТИКИ В ЦИФРОВОЙ ДИАФАНОСКОПИИ

Аннотация. Работа посвящена анализу оптических характеристик гнойного содержимого методом спектрофотометрии с целью обоснования специализированных медико-технических требований к устройству цифровой диафаноскопии при исследовании воспалительных заболеваний верхнечелюстных пазух. Проведены измерения спектров поглощения и рассеяния гнойного содержимого, на основе чего был сделан вывод о целесообразности применения зондирующего излучения с длиной волны 980 нм. Проведено численное моделирование методом Монте Карло с целью выявления зависимости величины ослабления оптического излучения при зондировании верхнечелюстной пазухи с гнойным содержимым от длины волны зондирования и значения оптической мощности излучения. Полученные результаты позволяют сформировать специализированные медико-технические требования, предъявляемые к устройству цифровой диафаноскопии для диагностики пациентов разного пола и с разными анатомическими особенностями.

Ключевые слова: оптическая диагностика, цифровая диафаноскопия, спектрофотометрия, верхнечелюстные пазухи, воспалительные заболевания, гнойное содержимое, оптические свойства, моделирование Монте-Карло, медико-технические требования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-32-90147.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программы скрининга: краткое руководство. Повышение эффективности, максимальное увеличение пользы и минимизация вреда [Текст] // Европейское региональное бюро ВОЗ. – 2020. – 72 С.
2. Bryanskaya, E.O. Diagnosis of inflammatory diseases of the paranasal sinuses using digital diaphanoscopy [Text] / E.O. Bryanskaya, I.N. Makovik, A.G. Bukin, O.A. Bibikova, B.M. Shuraev, O. Minet, U. Zabarylo, A.V. Dunaev, V.G. Artyushenko // Proc. SPIE. – 2019. – Vol. 11073. – P. 110731
3. Raja, S.V. Management of the posterior maxilla with sinus lift: review of techniques [Text] // Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. – 2009. – Vol. 67. – №. 8. – P. 1730-1734.
4. Barghouth, G. Paranasal sinuses in children: size evaluation of maxillary, sphenoid, and frontal sinuses by magnetic resonance imaging and proposal of volume index percentile curves [Text] / G. Barghouth, J. Prior, D. Lepori, B. Duvoisin, P. Schnyder, F. Gudinchet // European radiology. – 2002. – Vol. 12. – №. 6. – P. 1451-1458.
5. Teke, H.Y. Determination of gender by measuring the size of the maxillary sinuses in computerized tomography scans [Text] / H.Y. Teke, S. Duran, N. Canturk, G. Canturk // Surgical and radiologic anatomy. – 2007. – Vol. 29. – №. 1. – P. 9-13.
6. Kang, S. Bone thickness of the palate for orthodontic mini-implant anchorage in adults [Text] / S. Kang, S.J. Lee, S.J. Ahn, M.S. Heo, T.W. Kim // American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. – 2007. – Vol. 131. – №. 4. – P. S74-S81.
7. Wara-aswapati, N. Thickness of palatal masticatory mucosa associated with age [Text] / N. Wara-aswapati, W. Pitiphat, N. Chandrapho, C. Rattanayatikul, N. Karimbux // Journal of periodontology. – 2001. – Vol. 72. – №. 10. – P. 1407-1412.
8. Jacques, S.L. Origins of tissue optical properties in the UVA, visible, and NIR regions [Text] // OSA TOPS on advances in optical imaging and photon migration. – 1996. – Vol. 2. – P. 364-369.
9. Uchida, Y. Measurement of the maxilla and zygoma as an aid in installing zygomatic implants [Text] / Y. Uchida, M. Goto, T. Katsuki, T. Akiyoshi // Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. – 2001. – Vol. 59. – №. 10. – P. 1193-1198.
10. Xu, X. An anatomical study of Maxillary-Zygomatic complex using three-dimensional computerized tomography-based Zygomatic implantation [Text] / X. Xu, S. Zhao, H. Liu, Z. Sun, J. Wang, W. Zhang // BioMed research international. – 2017. – C. 8027307.
11. Gracco, A. Quantitative evaluation with CBCT of palatal bone thickness in growing patients [Text] / A. Gracco, L. Lombardo, M. Cozzani, G. Siciliani // Prog Orthod. – 2006. – Vol. 7. – №. 2. – P. 164-174.
12. De Greef, S. Large-scale in-vivo Caucasian facial soft tissue thickness database for craniofacial reconstruction [Text] / S. De Greef, P. Claes, D. Vandermeulen, W. Mollemans, P. Suetens, G. Willems // Forensic science international. – 2006. – Vol. 159. – P. S126-S146.
13. Bryanskaya, E.O. Monte Carlo simulation of signals in digital diaphanoscopy of the maxillary sinuses [Text] / E.O. Bryanskaya, R.Yu. Gneushev, I.N. Makovik, V.V. Dremine, A.G. Bukin, O.A. Bibikova, B.M. Shuraev, O. Minet, U. Zabarylo, A.V. Dunaev, V.G. Artyushenko // Proceedings of SPIE. – 2020. – Vol. 11457. – P. 114571K.
14. Гнеушев, Р.Ю. Моделирование прохождения зондирующего излучения через верхнечелюстную пазуху методом Монте-Карло при цифровой диафаноскопии [Текст] / Р.Ю. Гнеушев, Е.О. Брянская, В.В. Дрёмин, А.Г. Букин, И.Н. Маковик // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы-Биомедсистемы-2019. – 2019. – С. 137-139.
15. Bryanskaya, E.O. Optical Diagnostics of the Maxillary Sinuses by Digital Diaphanoscopy Technology [Text] / E.O. Bryanskaya, I.N. Novikova, V.V. Dremine, R.Yu. Gneushev, O.A. Bibikova, A.V. Dunaev, V.G. Artyushenko // Diagnostics. – 2021. – Vol. 11. – №. 1. – P. 77.
16. Prahl, S.A. The Adding-Doubling Method [Text] // Optical-Thermal Response of Laser-Irradiated Tissue. – 1995. – P. 101-125.
17. Блоцкий А.А. Мукоцеле лобной пазухи [Текст] // Folia Otorhinolaryngologiae et Pathologiae Respiratoriae. – 2009. Vol. 15. – № 2. – P. 34-38.
18. Тучин, В.В. Оптическая биомедицинская диагностика. В 2 т. [Текст] – Т.1. – 2007. – 561 с.
19. Peters, V.G. Optical properties of normal and diseased human breast tissues in the visible and near infrared [Text] / V.G. Peters, D.R. Wyman, M.S. Patterson, G.L. Frank // Physics in Medicine & Biology. – 1990. – Vol. 35. – № 9. – P. 1317-1334.
20. Bashkatov, A.N. Optical properties of mucous membrane in the spectral range 350–2000 nm [Text] / A.N. Bashkatov, E.A. Genina, V.I. Kochubey, V.V. Tuchin, E.E. Chikina, A.B. Knyazev, O.V. Mareev // Optics and spectroscopy. – 2004. – Vol. 97. – № 6. – P. 978-983.
21. Bashkatov, A.N. Optical properties of human cranial bone in the spectral range from 800 to 2000 nm [Text] / A.N. Bashkatov, E.A. Genina, V.I. Kochubey, V.V. Tuchin // Saratov Fall Meeting 2005: Optical Technologies in Biophysics and Medicine VII. – 2006. – Vol. 6163. – P. 306-316.
22. Genina, E.A., Optical Clearing of Cranial Bone [Text] / E.A. Genina, A.N. Bashkatov, V.V. Tuchin // Advances in Optical Technologies. – 2008. – P. 1-8.
23. Bashkatov, A. N. Optical properties of skin, subcutaneous, and muscle tissues: a review [Text] / A.N. Bashkatov, E.A. Genina, V.V. Tuchin // Journal of Innovative Optical Health Sciences. – 2011. – Vol. 4. – №. 1. – P. 9-38.
24. Bryanskaya, E.O. Brightness controller optimization for the digital diaphanoscopy system [Text] / E.O. Bryanskaya, R.Yu. Gneushev, I.N. Novikova, V.V. Dremine, A.V. Dunaev // European Conference on Biomedical Optics. – Optical Society of America. – 2021. – P. ETu2A.3.
25. Jacques S.L. Optical properties of biological tissues : a review [Text] // Physics in Medicine & Biology. –

Брянская Екатерина Олеговна

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

E.O. BRYANSKAYA

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE PURULENT CONTENTS OPTICAL PROPERTIES ON THE DIAGNOSTIC RESULT IN DIGITAL DIAPHANOSCOPY

Abstract. *The work is devoted to the analysis of the purulent contents optical characteristics by spectrophotometry in order to substantiate specialized medical and technical characteristics for digital diaphanoscopy device in the study of inflammatory diseases of the maxillary sinuses. The absorption and scattering spectra of purulent contents were measured, on the basis of which it was concluded that it was advisable to use the wavelength of 980 nm. Numerical simulation was carried out by the Monte Carlo method in order to identify the dependence of the attenuation of optical radiation during probing of the maxillary sinus with purulent contents on the wavelength of probing and the value of the optical power of radiation. The obtained results allow us to form specialized medical and technical requirements for the device of digital diaphanoscopy for the diagnosis of patients of different genders and with different anatomical features.*

Keywords: *optical diagnostics, digital diaphanoscopy, spectrophotometry, maxillary sinuses, inflammatory disease, purulent contents, optical properties, Monte Carlo simulation.*

BIBLIOGRAPHY

1. Programmy skringinga: kratkoe rukovodstvo. Povyshenie effektivnosti, maksimal'noe uvelichenie pol'zy i minimizaciya vreda [Tekst] // Evropejskoe regional'noe byuro VOZ. – 2020. – 72 P.
2. Bryanskaya, E.O. Diagnosis of inflammatory diseases of the paranasal sinuses using digital diaphanoscopy [Text] / E.O. Bryanskaya, I.N. Makovik, A.G. Bukin, O.A. Bibikova, B.M. Shuraev, O. Minet, U. Zabarylo, A.V. Dunaev, V.G. Artyushenko // Proc. SPIE. – 2019. – Vol. 11073. – P. 110731
3. Raja, S.V. Management of the posterior maxilla with sinus lift: review of techniques [Text] // Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. – 2009. – Vol. 67. – №. 8. – P. 1730-1734.
4. Barghouth, G. Paranasal sinuses in children: size evaluation of maxillary, sphenoid, and frontal sinuses by magnetic resonance imaging and proposal of volume index percentile curves [Text] / G. Barghouth, J. Prior, D. Lepori, B. Duvoisin, P. Schnyder, F. Gudinchet // European radiology. – 2002. – Vol. 12. – №. 6. – P. 1451-1458.
5. Teke, H.Y. Determination of gender by measuring the size of the maxillary sinuses in computerized tomography scans [Text] / H.Y. Teke, S. Duran, N. Canturk, G. Canturk // Surgical and radiologic anatomy. – 2007. – Vol. 29. – №. 1. – P. 9-13.
6. Kang, S. Bone thickness of the palate for orthodontic mini-implant anchorage in adults [Text] / S. Kang, S.J. Lee, S.J. Ahn, M.S. Heo, T.W. Kim // American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. – 2007. – Vol. 131. – №. 4. – P. S74-S81.
7. Wara-aswapati, N. Thickness of palatal masticatory mucosa associated with age [Text] / N. Wara-aswapati, W. Pitiphat, N. Chandrapho, C. Rattanayatikul, N. Karimbux // Journal of periodontology. – 2001. – Vol. 72. – №. 10. – P. 1407-1412.
8. Jacques, S.L. Origins of tissue optical properties in the UVA, visible, and NIR regions [Text] // OSA TOPS on advances in optical imaging and photon migration. – 1996. – Vol. 2. – P. 364-369.
9. Uchida, Y. Measurement of the maxilla and zygoma as an aid in installing zygomatic implants [Text] / Y. Uchida, M. Goto, T. Katsuki, T. Akiyoshi // Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. – 2001. – Vol. 59. – №. 10. – P. 1193-1198.
10. Xu, X. An anatomical study of Maxillary-Zygomatic complex using three-dimensional computerized tomography-based Zygomatic implantation [Text] / X. Xu, S. Zhao, H. Liu, Z. Sun, J. Wang, W. Zhang // BioMed research international. – 2017. – C. 8027307.
11. Gracco, A. Quantitative evaluation with CBCT of palatal bone thickness in growing patients [Text] / A. Gracco, L. Lombardo, M. Cozzani, G. Siciliani // Prog Orthod. – 2006. – Vol. 7. – №. 2. – P. 164-174.

12. De Greef, S. Large-scale in-vivo Caucasian facial soft tissue thickness database for craniofacial reconstruction [Text] / S. De Greef, P. Claes, D. Vandermeulen, W. Mollemans, P. Suetens, G. Willems // Forensic science international. – 2006. – Vol. 159. – P. S126-S146.
13. Bryanskaya, E.O. Monte Carlo simulation of signals in digital diaphanoscopy of the maxillary sinuses [Text] / E.O. Bryanskaya, R.Yu. Gneushev, I.N. Makovik, V.V. Dremin, A.G. Bukin, O.A. Bibikova, B.M. Shuraev, O. Minet, U. Zabarylo, A.V. Dunaev, V.G. Artyushenko // Proceedings of SPIE. – 2020. – Vol. 11457. – P. 114571K.
14. Gneushev, R.Yu. Modelirovanie prohozhdeniya zondiruyushchego izlucheniya cherez verhnechelyustnyuyu pazuhu metodom Monte-Karlo pri cifrovoj diafanoskopii [Tekst] / R.Yu. Gneushev, E.O. Bryanskaya, V.V. Dremin, A.G. Bukin, I.N. Makovik // Biotekhnicheskie, medicinskie i ekologicheskie sistemy, izmeritel'nye ustrojstva i robototekhnicheskie komplekso-BiomedSistemy-2019. – 2019. – P. 137-139.
15. Bryanskaya, E.O. Optical Diagnostics of the Maxillary Sinuses by Digital Diaphanoscopy Technology [Text] / E.O. Bryanskaya, I.N. Novikova, V.V. Dremin, R.Yu. Gneushev, O.A. Bibikova, A.V. Dunaev, V.G. Artyushenko // Diagnostics. – 2021. – Vol. 11. – № 1. – P. 77.
16. Prahl, S.A. The Adding-Doubling Method // Optical-Thermal Response of Laser-Irradiated Tissue. – 1995. – P. 101-125.
17. Blockij A.A. Mukocle lobnoj pazuhi [Tekst] // Folia Otorhinolaryngologiae et Pathologiae Respiratoriae. – 2009. Vol. 15. – № 2. – P. 34-38.
18. Tuchin, V.V. Opticheskaya biomedicinskaya diagnostika [Tekst]. V 2 t. – T.1. – 2007. – 561 p.
19. Peters, V.G. Optical properties of normal and diseased human breast tissues in the visible and near infrared [Text] / V.G. Peters, D.R. Wyman, M.S. Patterson, G.L. Frank // Physics in Medicine & Biology. – 1990. – Vol. 35. – № 9. – P. 1317-1334.
20. Bashkatov, A.N. Optical properties of mucous membrane in the spectral range 350–2000 nm [Text] / A.N. Bashkatov, E.A. Genina, V.I. Kochubey, V.V. Tuchin, E.E. Chikina, A.B. Knyazev, O.V. Mareev // Optics and spectroscopy. – 2004. – Vol. 97. – № 6. – P. 978-983.
21. Bashkatov, A.N. Optical properties of human cranial bone in the spectral range from 800 to 2000 nm [Text] / A.N. Bashkatov, E.A. Genina, V.I. Kochubey, V.V. Tuchin // Saratov Fall Meeting 2005: Optical Technologies in Biophysics and Medicine VII. – 2006. – Vol. 6163. – P. 306-316.
22. Genina, E.A., Optical Clearing of Cranial Bone [Text] / E.A. Genina, A.N. Bashkatov, V.V. Tuchin // Advances in Optical Technologies. – 2008. – P. 1-8.
23. Bashkatov, A. N. Optical properties of skin, subcutaneous, and muscle tissues: a review [Text] / A.N. Bashkatov, E.A. Genina, V.V. Tuchin // Journal of Innovative Optical Health Sciences. – 2011. – Vol. 4. – № 1. – P. 9-38.
24. Bryanskaya, E.O. Brightness controller optimization for the digital diaphanoscopy system [Text] / E.O. Bryanskaya, R.Yu. Gneushev, I.N. Novikova, V.V. Dremin, A.V. Dunaev // European Conference on Biomedical Optics. – Optical Society of America. – 2021. – P. ETu2A.3.
25. Jacques S.L. Optical properties of biological tissues : a review [Text] // Physics in Medicine & Biology. – 2013. – Vol. 58. – № 11. – P. 37-61.

Bryanskaya Ekaterina Olegovna

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel,

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

Russia, Orel, st. Komsomolskaya, 95

E-mail: bryanskayae@mail.ru

УДК 621.3

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-352-2-168-172

А.Н. КРУГОВОЙ, А.А. ЧЕТВЕРКИН

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА ИНДИВИДУАЛЬНОГО ГЛУБОКОВОДНОГО АППАРАТА ЖИДКОСТНОГО ДЫХАНИЯ С ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ДЫХАТЕЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ

Аннотация. Для спасения моряков с больших глубин могут применяться аппараты жидкостного дыхания разомкнутого типа, в которых заранее оксигенированная дыхательная жидкость используется однократно и сливается в накопительную емкость. Основным недостатком таких аппаратов является необходимость наличия большого объема дыхательной жидкости. Авторы исследуют возможность создания аппарата жидкостного дыхания с замкнутой системой циркуляции дыхательной жидкости. В этом случае требуется значительно меньший объем дыхательной жидкости, после выдоха осуществляется очищение ее от углекислого газа, а перед вдохом – насыщение кислородом.

Ключевые слова: Дыхательная жидкость, насыщение кислородом, очищение от углекислого газа, замкнутая система, гидравлический насос, принудительное жидкостное дыхание.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Круговой А.Н. Автоматизированное управление двигателями постоянного тока в условиях повышенного гидростатического давления. Автоматизация и измерения в машино-приборостроении. Научный журнал, выпуск №1(9) 2020, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 2020 г., С.3-9. ISSN 2658-4727
2. Круговой А.Н. Использование двигателей постоянного тока в аппаратах жидкостного дыхания. Автоматизация и измерения в машино-приборостроении. Научный журнал, выпуск №3 (15) 2021, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет.», 2021 г. С.88-94.
3. Герц Е.В., Крейнин Г.В. Расчет пневмоприводов. Справочное пособие. – М.: Машиностроение, 1975. – 272 с. с ил.

Круговой Александр Николаевич
ФГАОУ ВО Севастопольский государственный
Университет, г. Севастополь
Кандидат технических наук, доцент
Тел. (+7978) 028 72 43
E-MAIL: atpp_krugovoi@mail.ru

Четверкин Александр Алексеевич
ФГАОУ ВО Севастопольский государственный
Университет, г. Севастополь
Руководитель группы в лаборатории ЭСЖБО
Тел. (+7978) 914 40 44
E-MAIL: chetvyorkin14@yandex.ru

A.N. KRUGOVOY, A.A. CHETVERKIN

DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL SAMPLE OF AN INDIVIDUAL DEEP-SEA LIQUID BREATHING APPARATUS WITH A CLOSED RESPIRATORY FLUID CIRCULATION SYSTEM

Abstract. *To rescue sailors from great depths, open-type liquid breathing devices can be used, in which pre-oxygenated breathing fluid is used once and drained into a storage tank. The main disadvantage of such devices is the need for a large volume of respiratory fluid. The authors investigate the possibility of creating a liquid breathing apparatus with a closed respiratory fluid circulation system. In this case, a much smaller volume of respiratory fluid is required, after exhalation, it is purified from carbon dioxide, and before inhaling, oxygen saturation is carried out.*

Keywords: *Respiratory fluid, oxygen saturation, purification from carbon dioxide, closed system, hydraulic pump, forced liquid breathing.*

BIBLIOGRAPHY

1. Krugovoy A.N. Avtomatizirovannoe upravlenie dvigatelyami postoyaennogo toka v usloviyakh poviyshennogo gidrostaticheskogo davleniay. Avtomatizatsiay i izmereniay v mashino-priborostroenii. Nauchniy tzurnal, vipusk №1(9) 2020, Sevastopol, FGAOU VO «Sevastopolskiy gosudarstvenniy universitet», 2020 г., S.3-9. ISSN 2658-4727
2. Круговой А.Н. Ispolzovanie dvigatelei postoyaennogo toka v apparatah tzhidkostnogo dihaniay. Avtomatizatsiay i izmereniay v mashino-priborostroenii. Nauchniy tzurnal, vipusk №3(15) 2021, Sevastopol, FGAOU VO «Sevastopolskiy gosudarstvenniy universitet», 2020 г., S.88-94. ISSN 2658-4727
3. Gertz E.V., G.V. Kreinin. Raschet pnevmoprivodov. Spravochnoe posobie. – М.: Mashinostroenie, 1975. – 272 s. s il.

Krugovoy Alexander Nikolaevich
Sevastopol State University
Sevastopol,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ph. (+7978) 028 72 43
E-MAIL: atpp_krugovoi@mail.ru

Chetverkin Alexander Alekseevich
head of the group in the laboratory The of
ESZHBO
Sevastopol State University, Sevastopol
Pc. (+7978) 914 40 44
E-MAIL: chetvyorkin14@yandex.ru

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

УДК 621.396

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-352-2-173-183

Д.И. СУРЖИК, Г.С. ВАСИЛЬЕВ, О.Р. КУЗИЧКИН, К.В. ПОДМАСТЕРЬЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОРМИРОВАТЕЛЕЙ СИГНАЛОВ РАДИОПЕРЕДАТЧИКОВ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ СБОРА ДАННЫХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА РЕСУРСОВ АПК

Аннотация. Представленная статья посвящена исследованию шумовых характеристик формирователей сигналов радиопередатчиков беспроводных сетей связи, используемых для сбора данных геоэкологического мониторинга ресурсов агропромышленного комплекса. Отмечено, что качество передаваемых данных полезной нагрузки во многом зависит от возможности адаптации скорости их передачи, определяемой решениями на физическом уровне сетевой модели OSI. По результатам анализа используемых для передачи данных несущих частот и методов цифровой модуляции предложен универсальный подход к формированию сигналов, сочетающий достоинства метода непрямого модуляции с преобразованием частоты вверх с помощью супергетеродина и метода прямого цифрового синтеза; разработана реализующая его обобщенная структурная схема. Показано, что одним из важнейших параметров любой систем формирования сигналов является фазовый шум, для анализа которого составлена эквивалентная линеаризованная функциональная схема предложенного устройства со всеми источниками действующих фазовых шумов, для которой получены математические модели шумовых характеристик. По результатам моделирования шумовых свойств установлено, что данная схема характеризуется уровнем фазовых шумов в минус 100 - минус 115 дБ на отстройке 1 кГц от несущего колебания для формируемых сигналов в частотном диапазоне 1200-5800 МГц. Намечены пути дальнейшего улучшения спектральных характеристик формирователей сигналов радиопередатчиков беспроводных сетей связи как за счет оптимизации схемной реализации устройства для понижения уровня фазового шума, так и за счет применения специальных методов автоматической компенсации фазовых искажений, позволяющих снизить уровень дискретных паразитных спектральных составляющих в выходном спектре устройства на 10-15 дБ.

Ключевые слова: беспроводные самоорганизующиеся сети, беспилотные летательные аппараты, космические телекоммуникационные системы, геоэкологический мониторинг, агропромышленный комплекс, формирователи сигналов, цифровые вычислительные синтезаторы, фазовые шумы.

Работа выполнена в рамках Государственного задания-2020-0029 "Разработка теоретических основ построения информационно-аналитического обеспечения телекоммуникационных систем геоэкологического мониторинга природных ресурсов в агропромышленном комплексе", а также при поддержке стипендии Президента Российской Федерации СП-4829.2021.3 «Повышение качественных показателей современных космических телекоммуникационных систем путем улучшения характеристик их радиопередающей аппаратуры».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонов, А.В. Сети FANET / А.В. Леонов, В.А. Чаплышкин // Омский научный вестник. – 2015. - № 3 (143). – С. 297-301.
2. Bekmezci, I. Flying Ad-Hoc Networks (FANETs) / I. Bekmezci, O.K. Sahingoz, S. Temel // A Survey, Ad Hoc Networks. – 2013. - Vol. 11, № 3. - Pp. 1254–1270.
3. Ананьев, А.В. Разработка способа организации связи с использованием беспилотных летательных аппаратов малой дальности / А.В. Ананьев, М.А. Стафеев, Е.В. Макеев // Труды МАИ. – 2009. - Выпуск № 105. - С. 1-18.
4. Минаков, И.А. Экономика отраслей АПК / И.А. Минаков, Н.И. Куликов, О.В. Соколов и др.; Под ред. И.А. Минакова. - М.: КолосС, 2004. - 464 с.
5. Парди, Филип Г. Анализ границ будущего мирового рынка продуктов питания: мировой рынок по 2050 год включительно / Филип Г. Парди, Джейсон М. Беддоу, Терренс М. Херли, Тимоти К.М. Битти и Вернон Р. Эйдман // Australian Journal of Agricultural and Resource Economics. - 2014. - С. 571–589.

6. Бондарев, А.Н. Обзор беспилотных летательных аппаратов общего пользования и регулирования воздушного движения БПЛА в разных странах / А.Н. Бондарев, Р.В. Киричек // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2016. – Том 4, № 4. – С. 13-23.
7. Drozdov, S.N. On the experience of JPEG2000 broadcasting system implementation and about perspectives of JPEG2000 standard using for transmission of video and multispectral data from UAV / S.N. Drozdov, A.A. Zhiglaty, P. P. Kravchenko, S.V. Skorokhod, N.Sh. Khusainov // Izvestiya SFedU. Engineering Sciences. – Pp. 161-170.
8. Полинкин, А.В. Исследование характеристик радиоканала связи с беспилотными летательными аппаратами / А.В. Полинкин, Х.Т. Ле // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. – Вып. 7., Ч. 2. – С. 98-107.
9. Боев, Н.М. Способы повышения энергетической и спектральной эффективности цифровых систем связи беспилотных летательных аппаратов / Н.М. Боев // ТРУДЫ МФТИ. — 2014. — Том 6, № 2. - С. 162-166.
10. Голиков, А.М. Модуляция, кодирование и моделирование в телекоммуникационных системах. Теория и практика: учеб. Пособие / А.М. Голиков – СПб.: Лань, 2018. – 452 с.
11. Васильев, Е.В. Радиопередатчики для исследования ММО канала связи с беспилотным летательным аппаратом / Е.В. Васильев // Вестник РГРТУ. - 2015. - № 54, Часть 1. – С. 9-14.
12. Vankka, J. Direct Digital Synthesizers: Theory, Design and Applications / J. Vankka, K. Halonen. - Helsinki University of Technology, 2000. - 208 p.
13. Kroupa, V.F. Phase Lock Loops and Frequency Synthesis / V.F. Kroupa. - John Wiley & Sons, Ltd, 2003. – 320p.
14. Goldberg, Bar-Giora. Digital Frequency Synthesis Demystified DDS and Fractional-N PLLs / Bar-Giora Goldberg. - LLN Technology Publishing, 1999. – 355 p.
15. Белов, Л.А. Формирование стабильных частот и сигналов: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Л.А. Белов. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 224 с.
16. Ридико, Л.И. DDS: прямой цифровой синтез частоты / Л.И. Ридико // Компоненты и технологии. - 2001. - №7.
17. Кестер, У. Аналого-цифровое преобразование / Под ред. У. Кестера. - Москва: Техносфера, 2007. - 1016p.
18. Израэлсон, Д. Прецизионное формирование формы синусоидального сигнала на DDS-структурах / Д. Израэлсон // Chipnews. - 2006. - №6. - С. 32-35.
19. Мёрфи, Е. Всё о синтезаторах DDS / Е. Мёрфи, К. Слэттери // Компоненты и технологии. - 2005. - №1.
20. Кочемасов, А. Цифровые вычислительные синтезаторы - применение в системах синтеза частот и сигналов / А. Кочемасов, А. Голубков, Н. Егоров, А. Черкашин, А. Чугуй // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2014. - №8. - С. 171-178.
21. Рыжков, А.В. Синтезаторы частот в технике радиосвязи / А.В. Рыжков, В.Н. Попов. – М. - Радио и связь, 1991. – 264 с.
22. Жалуд, В. Шумы в полупроводниковых устройствах / В. Жалуд, В. Кулешов. - М., «Сов. радио», 1997. – 416 с.
23. Букингем, М. Шумы в электронных приборах и системах. Пер. с англ. / М. Букингем. – М.- Мир, 1986. – 399 с.
24. Бельчиков, С. Фазовый шум: как спуститься ниже -120 дБн/Гц на отстройке 10 кГц в диапазоне частот до 14 ГГц, или борьба за децибелы / С. Бельчиков // Компоненты и технологии. – 2009. - №5-6.
25. Ромашов, В.В. Моделирование шумовых характеристик гибридных синтезаторов частот / В.В. Ромашов, Л.В. Ромашова, К.К. Храмов, А.Н. Докторов, К.А. Якименко // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2014. - №1. – С. 5-20.
26. Surzhik, D.I. Modeling the noise properties of hybrid frequency synthesizers with automatic compensation of phase noise of DDS / D.I. Surzhik, I.A. Kurilov, O.R. Kuzichkin, G.S. Vasilyev, S.M. Kharchuk // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications. – 2015. – №7147015.
27. Vasilyev, G.S. Analysis of noise properties of a hybrid frequency synthesizer with autocompensating phase noise of DDS and PLL / G.S. Vasilyev, O.R. Kuzichkin, I.A. Kurilov, D.I. Surzhik // 2016 International Siberian Conference on Control and Communications. –2016. – № 7491742.
28. Surzhik, D.I. Design and mathematical modeling of hybrid frequency synthesizers with automatic compensation of DDS interferences / D.I. Surzhik, I.A. Kurilov, G.S. Vasilyev, S.M. Kharchuk // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications. – 2015. – IEEE Catalog Number: CFP15794-CDR.
29. Kuzichkin, O.R. Analysis of Noise Characteristics of Multichannel Systems of the Formation of Signals of Georadars with Synthesized Aperture / O.R. Kuzichkin, D.I. Surzhik, G.S. Vasiliev, I.A. Kurilov, N.V. Dorofeev // Active and Passive Electronic Components. – 2018. – №9429863.
30. Grecheneva, AV. The method of forming probing signals of georadars on the basis of direct digital synthesizers for geodynamic monitoring / AV Grecheneva, NV Dorofeev, OR Kuzichkin, DI Surzhik, RV Romanov // 2018 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUNCTIONAL MATERIALS AND CHEMICAL ENGINEERING (ICFMCE 2018), series of books: MATEC Web of Conferences. – 2019. - Volume 272.
31. Dorofeev, NV. The method and devices of autocompensation of phase distortions of direct digital synthesizers of signal formers of georadars / NV Dorofeev, AV Grecheneva, OR Kuzichkin, DI Surzhik, RV Romanov // 2018 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUNCTIONAL MATERIALS AND CHEMICAL ENGINEERING (ICFMCE 2018), series of books: MATEC Web of Conferences– 2019. - Volume: 272.

Суржик Дмитрий Игоревич

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых», г. Владимир
к.т.н., доцент кафедры «Управление и контроль в технических системах»
E-mail: arzerum@mail.ru

Кузичкин Олег Рудольфович

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород
д.т.н., профессор, институт инженерных технологий и естественных наук
E-mail: Kuzichkin@bsu.edu.ru

Васильев Глеб Сергеевич

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород
к.т.н., научный сотрудник института инженерных технологий и естественных наук
E-mail: vasilievgleb@yandex.ru

Подмастерьев Константин Валентинович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», г. Орел
д.т.н., профессор, директор института приборостроения, автоматизации и информационных технологий
E-mail: asms-orel@mail.ru

D.I. SURZHNIK, G.S. VASILYEV, O.R. KUZICHKIN, K.V. PODMASTERYEV

INVESTIGATION OF NOISE CHARACTERISTICS OF SIGNAL FORMERS OF RADIO TRANSMITTERS OF WIRELESS NETWORKS OF DATA COLLECTION OF GEOECOLOGICAL MONITORING OF AIC RESOURCES

Abstract. *The presented article is devoted to the study of the noise characteristics of signal formers of radio transmitters of wireless communication networks used to collect data on geoecological monitoring of agro-industrial complex resources. It is noted that the quality of the transmitted payload data largely depends on the possibility of adapting their transmission rate, determined by decisions at the physical layer of the OSI network model. Based on the results of the analysis of carrier frequencies used for data transmission and digital modulation methods, a universal approach to signal generation is proposed that combines the advantages of the method of indirect modulation with frequency upconversion using a superheterodyne and the method of direct digital synthesis; a generalized block diagram that implements it has been developed. It is shown that one of the most important parameters of any signal conditioning system is phase noise, for the analysis of which an equivalent linearized functional diagram of the proposed device with all sources of active phase noise was compiled, for which mathematical models of noise characteristics were obtained. Based on the results of modeling noise properties, it was found that this circuit is characterized by a phase noise level of minus 100 - minus 115 dB at a detuning of 1 kHz from the carrier wave for generated signals in the frequency range of 1200-5800 MHz. Ways are outlined for further improvement of the spectral characteristics of signal conditioners for radio transmitters of wireless communication networks, both by optimizing the circuit implementation of the device to reduce the level of phase noise, and by using special methods for automatic compensation of phase distortions, which make it possible to reduce the level of discrete spurious spectral components in the output spectrum of the device by 10 - 15 Db/*

Keywords: *wireless self-organizing networks, unmanned aerial vehicles, space telecommunication systems, geoecological monitoring, agro-industrial complex, signal conditioners, direct digital synthesizers, phase noise.*

BIBLIOGRAPHY

1. Leonov, A.V. Seti FANET / A.V. Leonov, V.A. Chaplyshkin // Omskiy nauchnyy vestnik. – 2015. - № 3 (143). – S. 297-301.
2. Bekmezci, I. Flying Ad-Hoc Networks (FANETs) / I. Bekmezci, O.K. Sahingoz, S. Temel // A Survey, Ad Hoc Networks. – 2013. - Vol. 11, № 3. - Pp. 1254–1270.
3. Anan'yev, A.V. Razrabotka sposoba organizatsii svyazi s ispol'zovaniyem bespilotnykh letatel'nykh apparatov maloy dal'nosti / A.V. Anan'yev, M.A. Stafeyev, Ye.V. Makeyev // Trudy MAI. – 2009. - Vypusk № 105. - S. 1-18.
4. Minakov, I.A. Ekonomika otrasley APK / I.A. Minakov, N.I. Kulikov, O.V. Sokolov i dr.; Pod red. I.A. Minakova. M.: KolosS, 2004. - 464 s.
5. Pardi, Filip G. Analiz granits budushchego mirovogo rynka produktov pitaniya: mirovoy rynek po 2050 god vklyuchitel'no / Filip G. Pardi, Dzheyson M. Beddou, Terrens M. Kherli, Timoti K.M. Bitti i Vernon R. Eydman // Australian Journal of Agricultural and Resource Economics. - 2014. - S. 571–589.
6. Bondarev, A.N. Obzor bespilotnykh letatel'nykh apparatov obshchego pol'zovaniya i regulirovaniya vozdušnogo dvizheniya BPLA v raznykh stranakh / A.N. Bondarev, R.V. Kirichuk // Informatsionnyye tekhnologii i telekommunikatsii. – 2016. - Tom 4, № 4. - S. 13-23.

7. Drozdov, S.N. On the experience of JPEG2000 broadcasting system implementation and about perspectives of JPEG2000 standard using for transmission of video and multispectral data from UAV / S.N. Drozdov, A.A. Zhiglaty, P. P. Kravchenko, S.V. Skorokhod, N.Sh. Khusainov // *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*. - Pp. 161-170.
8. Polynkin, A.V. Issledovaniye kharakteristik radiokanala svyazi s bespilotnymi letatel'nymi apparatami / A.V. Polynkin, K.H.T. Le // *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskiye nauki*. - 2013. - Vyp. 7., Ch. 2. - S. 98-107.
9. Boyev, N.M. Sposoby povysheniya energeticheskoy i spektral'noy effektivnosti tsifrovyykh sistem svyazi bespilotnykh letatel'nykh apparatov / N.M. Boyev // *TRUDY MFTI*. — 2014. — Tom 6, № 2. - S. 162-166.
10. Golikov, A.M. Modulyatsiya, kodirovaniye i modelirovaniye v telekommunikatsionnykh sistemakh. Teoriya i praktika: ucheb. Posobiye / A.M. Golikov – SPb.: Lan', 2018. – 452 s.
11. Vasil'yev, Ye.V. Radiopredatchiki dlya issledovaniya MIMO kanala svyazi s bespilotnym letatel'nyim apparatom / Ye.V. Vasil'yev // *Vestnik RGRTU*. - 2015. - № 54, Chast' 1. – S. 9-14.
12. Vankka, J. Direct Digital Synthesizers: Theory, Design and Applications / J. Vankka, K. Halonen. Helsinki University of Technology, 2000. - 208 p.
13. Kroupa, V.F. Phase Lock Loops and Frequency Synthesis / V.F. Kroupa. John Wiley & Sons, Ltd, 2003. – 320p.
14. Goldberg, Bar-Giora. Digital Frequency Synthesis Demystified DDS and Fractional-N PLLs / Bar-Giora Goldberg. LLH Technology Publishing, 1999. – 355 p.
15. Belov, L.A. Formirovaniye stabil'nykh chastot i signalov: Ucheb. posobiye dlya stud. vyssh. ucheb. zavedeniy / L.A. Belov. – M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2005. – 224 s.
16. Ridiko, L.I. DDS: pryamoy tsifrovoy sintez chastoty / L.I. Ridiko // *Komponenty i tekhnologii*. - 2001. - №7.
17. Kester, U. Analogo-tsifrovoye preobrazovaniye / Pod red. U. Kestera. Moskva: Tekhnosfera, 2007. – 1016 p.
18. Izraelson, D. Pretsizionnoye formirovaniye formy sinusoidal'nogo signala na DDS-strukturakh / D. Izraelson // *Chipnews*. - 2006. - №6. - S. 32-35.
19. Morfi, Ye. Vso o sintezatorakh DDS / Ye. Morfi, K. Sletteri // *Komponenty i tekhnologii*. - 2005. - №1.
20. Kochemasov, A. Tsifrovyye vychislitel'nyye sintezatory - primeneniye v sistemakh sinteza chastot i signalov / A. Kochemasov, A. Golubkov, N. Yegorov, A. Cherkashin, A. Chuguy // *Elektronika: nauka, tekhnologiya, biznes*. – 2014. - №8. - S. 171-178.
21. Ryzhkov, A.V. Sintezatory chastot v tekhnike radiosvyazi / A.V. Ryzhkov, V.N. Popov. – M. - Radio i svyaz', 1991. – 264 s.
22. Zhalud, V. Shumy v poluprovodnikovyykh ustroystvakh / V. Zhalud, V. Kuleshov. M., «Sov. radio», 1997. – 416s.
23. Bukingem, M. Shumy v elektronnykh priborakh i sistemakh. Per. s angl. / M. Bukingem. – M.- Mir, 1986. – 399s.
24. Bel'chikov, S. Fazovyy shum: kak spustit'sya nizhe -120 dBn/Gts na otstroyke 10 kGts v diapazone chastot do 14 GGts, ili bor'ba za detsibely / S. Bel'chikov // *Komponenty i tekhnologii*. – 2009. - №5-6.
25. Romashov, V.V. Modelirovaniye shumovykh kharakteristik gibridnykh sintezatorov chastot / V.V. Romashov, L.V. Romashova, K.K. Khramov, A.N. Doktorov, K.A. Yakimenko // *Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnyye sistemy*. – 2014. - №1. – S. 5-20.
26. Surzhik, D.I. Modeling the noise properties of hybrid frequency synthesizers with automatic compensation of phase noise of DDS / D.I. Surzhik, I.A. Kurilov, O.R. Kuzichkin, G.S. Vasilyev, S.M. Kharchuk // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications. – 2015. – №7147015.
27. Vasilyev, G.S. Analysis of noise properties of a hybrid frequency synthesizer with autocompensating phase noise of DDS and PLL / G.S. Vasilyev, O.R. Kuzichkin, I.A. Kurilov, D.I. Surzhik // 2016 International Siberian Conference on Control and Communications. –2016. – № 7491742.
28. Surzhik, D.I. Design and mathematical modeling of hybrid frequency synthesizers with automatic compensation of DDS interferences / D.I. Surzhik, I.A. Kurilov, G.S. Vasilyev, S.M. Kharchuk // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications. – 2015. – IEEE Catalog Number: CFP15794-CDR.
29. Kuzichkin, O.R. Analysis of Noise Characteristics of Multichannel Systems of the Formation of Signals of Georadars with Synthesized Aperture / O.R. Kuzichkin, D.I. Surzhik, G.S. Vasiliev, I.A. Kurilov, N.V. Dorofeev // *Active and Passive Electronic Components*. – 2018. – №9429863.
30. Grecheneva, AV. The method of forming probing signals of georadars on the basis of direct digital synthesizers for geodynamic monitoring / AV Grecheneva, NV Dorofeev, OR Kuzichkin, DI Surzhik, RV Romanov // 2018 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUNCTIONAL MATERIALS AND CHEMICAL ENGINEERING (ICFMCE 2018), series of books: MATEC Web of Conferences. – 2019. - Volume 272.
31. Dorofeev, NV. The method and devices of autocompensation of phase distortions of direct digital synthesizers of signal formers of georadars / NV Dorofeev, AV Grecheneva, OR Kuzichkin, DI Surzhik, RV Romanov // 2018 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUNCTIONAL MATERIALS AND CHEMICAL ENGINEERING (ICFMCE 2018), series of books: MATEC Web of Conferences– 2019. - Volume: 272.

Surzhik Dmitry Igorevich

Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir
Ph.D., Associate Professor of the Department
"Management and Control in Technical Systems"
E-mail: arzerum@mail.ru

Vasilyev Gleb Sergeevich

Belgorod State National Research University, Belgorod
Ph.D., Researcher at the Institute of Engineering
Technologies and Natural Sciences

Kuzichkin Oleg Rudolfovich

Belgorod State National Research University, Belgorod
Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of
Engineering Technologies and Natural Sciences
E-mail: Kuzichkin@bsu.edu.ru

Podmasteryev Konstantin Valentinovich

Oryol state University named after I.S. Turgenev, Orel

Г.С. ВАСИЛЬЕВ, О.Р. КУЗИЧКИН, Д.И. СУРЖИК, К.В. ПОДМАСТЕРЬЕВ

ОЦЕНИВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕЗЕРВА КАНАЛОВ СВЯЗИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БПЛА В УСЛОВИЯХ «УМНЫХ ГОРОДОВ»

Аннотация: В работе выполнена оценка влияния различных факторов и условий передачи данных на энергетический резерв радиоканалов связи с малоразмерными беспилотными летательными аппаратами (БПЛА), осуществляющими полетные задания в пределах «умных городов» с плотной застройкой. Приведены результаты моделирования энергетического резерва канала связи от несущей частоты передаваемого радиосигнала, расстояния между передающим и принимающим узлами сети связи для различной высоты полета БПЛА.

Ключевые слова: радиоканал, беспилотные летательные аппараты, «умные города», энергетический резерв радиоканала связи, потери распространения радиосигналов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-29-06030-мк "Исследование и разработка технологии беспроводной самоорганизующейся сети между БПЛА и диспетчерскими центрами «умного города» на основе адаптации параметров режима передачи на различных уровнях сетевого взаимодействия". Теория подготовлена в рамках Государственного задания-2020-0029 "Разработка теоретических основ построения информационно-аналитического обеспечения телекоммуникационных систем геоэкологического мониторинга природных ресурсов в агропромышленном комплексе".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голиков А.М. Модуляция, кодирование и моделирование в телекоммуникационных системах. Теория и практика: учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2018. – 452с.
2. Кириллов В.И. Многоканальные системы передачи данных: Учебник / В.И. Кириллов. – М.: Новое знание, 2002. – 751 с.
3. Ирвин Дж., Харль Д. Передача данных в сетях: инженерный подход: Пер. с англ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 448 с.
4. Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Никитин А.Н., Сиверс М.А. Системы связи с кодовым разделением каналов / СПбГУТ. СПб, 1999. – 120 с.
5. Шварцман В.О., Емельянов Г.А. Теория передачи дискретной информации: Учебник для вузов связи. – М.: Связь, 1979. – 424 с.
6. Крухмалев В.В. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: Учебник для вузов / В.В. Крухмалев, В.Н. Гордиенко, А.Д. Моченов и др. Под ред. В.Н. Гордиенко и В.В. Крухмалева. – М.: Горячая линия - Телеком, 2004. – 510 с.
7. Ипатов В.П. Системы мобильной связи: Учебное пособие для вузов / В.П. Ипатов, В.К. Орлов, И.М. Самойлов, В.Н. Смирнов; под ред. В.П. Ипатова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 272 с.
8. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
9. Васин В.А. Радиосистемы передачи информации: Учебное пособие для вузов / В.А. Васин, В.В. Калмыков, Ю.Н. Себекин, А.И. Сенин, И.Б. Федотов; под ред. И.Б. Федотова и В.В. Калмыкова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 472с.
10. А. В. Леонов В. А. Чаплышкин. Сети FANET / Омский научный вестник. – 2015, № 3 (143). – С. 297-301.
11. I. Bekmezci, O. K. Sahingoz, S. Temel., Flying Ad-Hoc Networks (FANETs): A Survey, Ad Hoc Networks, 2013, Vol. 11, № 3, pp. 1254–1270.
12. Ананьев А.В., Стафеев М.А., Макеев Е.В. Разработка способа организации связи с использованием беспилотных летательных аппаратов малой дальности / Труды МАИ. Выпуск № 105. - 2019. - С. 1-18.
13. Chertova O. G., Chirov D. S. Building a core communication network which is based on small size unmanned aircraft vehicle without ground infrastructure. H&ES Research. 2019. Vol. 11. No. 3. Pp. 60–71.
14. А.Н. Бондарев, Р.В. Киричек. Обзор беспилотных летательных аппаратов общего пользования и регулирования воздушного движения БПЛА в разных странах / Информационные технологии и телекоммуникации. – 2016, Том 4, № 4. - С. 13-23.
15. Д. Вотцель, Е. Кузнецова. Технологии умных городов: что влияет на выбор горожан? – McKinsey center for government. - 2018. – 66 с.

16. D. McLaren, J. Agyeman. Sharing Cities. A Case for Truly Smart and Sustainable Cities/ The MIT Press. - Cambridge, Massachusetts. – 2015. - 461с.
17. М. Абламейко, С. Абламейко. «Умный город»: от теории к практике / Наука и инновации. –2018, №6 (184). -С. 28-34.
18. В. Н. Княгинин. Приоритетные направления внедрения технологий умного города в Российских городах / Экспертно-аналитический доклад.– Москва, 2018. – 178 с.
19. Kheir Al-Kodmany. Sentient City: Ubiquitous Computing, Architecture, and the Future of Urban Space / Journal of Urban Technology. - 2012. - С. 137-140.
20. Курчеева Г.И., Ключков Г.А. Разработка процессной модели «умный город» // Интернет-журнал «Науковедение». - 2017, Том 9, №5. – С. 1-8.
21. А.Д. Вырелкин, А.Е. Кучерявый. Использование беспилотных летательных аппаратов для решения задач «умного города» / Информационные технологии и телекоммуникации. -2017, Т.5., № 1. - С. 105-113.
22. А.В. Полынкин, Х.Т. Ле. Исследование характеристик радиоканала связи с беспилотными летательными аппаратами / Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013, Вып. 7., Ч. 2. – С. 98-107.
23. В. А. Утц. Исследование потерь при распространении радиосигнала сотовой связи на основе статистических моделей / Вестник Балтийского государственного университета им. И. Канта. 2011. Вып. 5. С. 44—49.
24. Фокин Г.А. Обзор моделей радиоканала связи с беспилотными летательными аппаратами // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 4. С. 85–101.
25. Куликов Г.В., Тамбовский С.С. Оценка качества связи с БПЛА в условиях городской застройки / Вестник МГТУ МИРЭА. - 2015, № 1 (6). - С. 205-217.

Васильев Глеб Сергеевич

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород
к.т.н., научный сотрудник института инженерных технологий и естественных наук
E-mail: vasilievgleb@yandex.ru

Кузичкин Олег Рудольфович

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород
д.т.н., профессор, институт инженерных технологий и естественных наук
E-mail: Kuzichkin@bsu.edu.ru

Суржик Дмитрий Игоревич

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет», г. Владимир
к.т.н., доцент кафедры «Управление и контроль в технических системах»
E-mail: arzerum@mail.ru

Подмастерьев Константин Валентинович.

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», г. Орел
д.т.н., профессор, директор института приборостроения, автоматизации и информационных технологий
E-mail: asms-orel@mail.ru

G.S. VASILYEV, O.R. KUZICHKIN, D.I. SURZHIK, K.V. PODMASTERYEV

MODELING OF THE ENERGY RESERVE OF COMMUNICATION CHANNELS BETWEEN UAVS IN THE CONDITIONS OF "SMART CITIES"

Abstract. *The paper evaluates the influence of various factors and conditions of data transmission on the energy reserve of radio communication channels with small-sized unmanned aerial vehicles (UAVs) carrying out flight missions within "smart cities" with dense buildings. The results of modeling the energy reserve of the communication channel from the carrier frequency of the transmitted radio signal, the distance between the transmitting and receiving nodes of the communication network for different UAV flight heights are presented.*

Keywords: *radio channel, unmanned aerial vehicles, "smart cities", energy reserve of the radio communication channel, loss of radio signal propagation.*

BIBLIOGRAPHY

1. Golikov A.M. Modulyaciya, kodirovanie i modelirovanie v telekommunikacionnyh sistemah. Teoriya i praktika: ucheb. posobie. – SPb.: Lan', 2018. – 452s.
2. Kirillov V.I. Mnogokanal'nye sistemy peredachi dannyh: Uchebnik / V.I. Kirillov. – M.: Novoe znanie, 2002. – 751 s.
3. Irvin Dzh., Harl' D. Peredacha dannyh v setyah: inzhenernyj podhod: Per. s angl. – SPb.: BHV-Peterburg, 2003. – 448 s.
4. Babkov V.YU., Voznyuk M.A., Nikitin A.N., Siverts M.A. Sistemy svyazi s kodovym razdeleniem kanalov / SPbGUT. SPb, 1999. – 120 s.

5. SHvarcman V.O., Emel'yanov G.A. Teoriya peredachi diskretnoj informacii: Uchebnik dlya vuzov svyazi. – M.: Svyaz', 1979. – 424 s.
6. Kruhmalev V.V. Osnovy postroeniya telekommunikacionnyh sistem i setej: Uchebnik dlya vuzov / V.V. Kruhmalev, V.N. Gordienko, A.D. Mochenov i dr. Pod red. V.N. Gordienko i V.V. Kruhmaleva. – M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2004. – 510 s.
7. Ipatov V.P. Sistemy mobil'noj svyazi: Uchebnoe posobie dlya vuzov / V.P. Ipatov, V.K. Orlov, I.M. Samojlov, V.N. Smirnov; pod red. V.P. Ipatova. – M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2003. – 272 s.
8. Sklyar B. Cifrovaya svyaz'. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primenenie. Izd. 2-e, ispr.: Per. s angl. – M.: Izdatel'skij dom «Vil'yams», 2003. – 1104 s.
9. Vasin V.A. Radiosistemy peredachi informacii: Uchebnoe posobie dlya vuzov / V.A. Vasin, V.V. Kalmykov, YU.N. Sebekin, A.I. Senin, I.B. Fedotov; pod red. I.B. Fedotova i V.V. Kalmykova. – M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2005. – 472s.
10. A. V. Leonov V. A. CHaplyshkin. Seti FANET / Omskij nauchnyj vestnik. – 2015, № 3 (143). – S. 297-301.
11. I. Bekmezci, O. K. Sahingoz, S. Temel., Flying Ad-Hoc Networks (FANETs): A Survey, Ad Hoc Networks, 2013, Vol. 11, № 3, pp. 1254–1270.
12. Anan'ev A.V., Stafeev M.A., Makeev E.V. Razrabotka sposoba organizacii svyazi s ispol'zovaniem bespilotnyh letatel'nyh apparatov maloj dal'nosti / Trudy MAI. Vypusk № 105. - 2019. - S. 1-18.
13. Chertova O. G., Chirov D. S. Building a core communication network which is based on small size unmanned aircraft vehicle without ground infrastructure. H&ES Research. 2019. Vol. 11. No. 3. Pr. 60–71.
14. A.N. Bondarev, R.V. Kirichek. Obzor bespilotnyh letatel'nyh apparatov obshchego pol'zovaniya i regulirovaniya vozdušnogo dvizheniya BPLA v raznyh stranah / Informacionnye tekhnologii i telekommunikacii. – 2016, Tom 4, № 4. - S. 13-23.
15. D. Votcel', E. Kuznecova. Tekhnologii umnyh gorodov: chto vliyaet na vybor gorozhan? – McKinsey center for government. - 2018. – 66 s.
16. D. McLaren, J. Agyeman. Sharing Cities. A Case for Truly Smart and Sustainable Cities/ The MIT Press. - Cambridge, Massachusetts. – 2015. - 461s.
17. M. Ablamejko, S. Ablamejko. «Umnyj gorod»: ot teorii k praktike / Nauka i innovacii. –2018, №6 (184). - S. 28-34.
18. V. N. Knyagin. Prioritetnye napravleniya vnedreniya tekhnologij umnogo goroda v Rossijskih gorodah / Ekspertno-analiticheskij doklad.– Moskva, 2018. – 178 s.
19. Kheir Al-Kodmany. Sentient City: Ubiquitous Computing, Architecture, and the Future of Urban Space / Journal of Urban Technology. - 2012. - S. 137-140.
20. Kurcheva G.I., Klochkov G.A. Razrabotka processnoj modeli «umnyj gorod» // Internet-zhurnal «Naukovedenie». - 2017, Tom 9, №5. – S. 1-8.
21. A.D. Vyrelkin, A.E. Kucheryavij. Ispol'zovanie bespilotnyh letatel'nyh apparatov dlya resheniya zadach «umnogo goroda» / Informacionnye tekhnologii i telekommunikacii. -2017, T.5., № 1. - S. 105-113.
22. A.V. Polynkin, H.T. Le. Issledovanie harakteristik radiokanala svyazi s bespilotnymi letatel'nymi apparatami / Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. – 2013, Vyp. 7., CH. 2. – S. 98-107.
23. V. A. Utc. Issledovanie poter' pri rasprostranenii radiosignala sotovoj svyazi na osnove statisticheskikh modelej / Vestnik Baltijskogo gosudarstvennogo universiteta im. I. Kanta. 2011. Vyp. 5. S. 44–49.
24. Fokin G.A. Obzor modelej radiokanala svyazi s bespilotnymi letatel'nymi apparatami // Trudy uchebnyh zavedenij svyazi. 2018. T. 4. № 4. S. 85–101.
25. Kulikov G.V., Tambovskij S.S. Ocenka kachestva svyazi s BPLA v usloviyah gorodskoj zastrojki / Vestnik MGTU MIREA. - 2015, № 1 (6). - S. 205-217.

Vasilyev Gleb Sergeevich

Belgorod State National Research University, Belgorod
Ph.D., Researcher at the Institute of Engineering
Technologies and Natural Sciences
E-mail: vasilievgleb@yandex.ru

Surzhik Dmitry Igorevich

Vladimir State University, Vladimir
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of
the Department "Management and Control in Technical
Systems"
E-mail: arzerum@mail.ru

Kuzichkin Oleg Rudolfovich

Belgorod State National Research University, Belgorod
Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of
Engineering Technologies and Natural Sciences
E-mail: Kuzichkin@bsu.edu.ru

Podmasteryev Konstantin Valentinovich

Professor, Department of Instrument Engineering,
Metrology and Certification,
Director of the Institute of Instrument Engineering,
Automation and Information Technologies
Oryol state University named after I. S. Turgenev, Orel,
302026, Russia
E-mail: asms-orel@mail.ru

Адрес издателя:

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

Адрес редакции:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302030, Орловская область, г. Орел, ул. Московская, 34
+7(920)2806645, +7(906)6639898

<http://oreluniver.ru>
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 11.05.2022 г.
Дата выхода в свет 17.05.2022 г.
Формат 70X108/16. Усл. печ. л. 12,0625
Цена свободная. Тираж 1000 экз.
Заказ №92

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