

Редколлегия

Главный редактор

Радченко С.Ю. д-р техн. наук, проф.

Заместители главного редактора:

Барсуков Г.В. д-р техн. наук, проф.

Гордон В.А. д-р техн. наук, проф.

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

Савин Л.А. д-р техн. наук, проф.

Шоркин В.С. д-р физ.-мат. наук, проф.

Члены редколлегии:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(Азербайджан)

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

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

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

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

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

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

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

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

(Беларусь)

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

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

Ответственный секретарь:

Тюхта А.В. канд. техн. наук

Адрес редакции

302030, г. Орел, ул. Московская, 34

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

http://oreluniver.ru

E-mail: radsu@rambler.ru

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

Подписной индекс **29504**
по объединенному каталогу
«Пресса России»

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2019

Содержание

Теоретическая механика и ее приложения

Дологлонян А.В., Матвеев В.Т. Использование местных климатических ресурсов холода с помощью установок органического цикла Ренкина.....	3
Попов И.П. «Ортогональные» мощности при механических колебаниях.....	12

Механика деформируемого твердого тела, динамика и прочность

Лагутина А.А., Мануева М.В., Антипин Д.Я., Борзенков М.И. Проектирование оптимальных конструкций кузовов вагонов с учетом начальных несовершенств.....	16
--	----

Машиностроительные технологии и оборудование

Якимович Б.А., Домбравец А.Н., Соломенникова С.И., Шемякина Э.Х. Инженерная методика расчета трудоемкости приспособлений, штампов пресс-форм и технологической оснастки с использованием автоматизированной системы прогнозного нормирования.....	22
Богуцкий В.Б., Шрон Л.Б. Оценка стабильности технологического процесса обработки с использованием статистического анализа.....	32
Панин А.А., Бурилич И.Н., Тютюнов Д.Н., Студеникина Л.И. Некоторые особенности проектирования конструкции червячных мелко модульных фрез с винтовым замыканием.....	41
Комков М.А., Баданина Ю.В., Болотин Ю.З., Васильева Т.В. Криогенные трубопроводы летательных аппаратов из намотанной полиимидно-фторопластовой пленки.....	45
Кудрявцев С.В., Селемев М.Ф., Тарапанов А.С. Определение относительных изменений температуры параметров процесса развертывания при применении напылений на режущую часть инструмента.....	53
Игнатов А.В., Родионова Н.А., Тагильцев С.В. Оригинальная классификация расточных оправок с эффектами виброгашения.....	59
Ткаченко А.Н., Селемеева Е.М., Черепенько А.А., Фроленкова Л.Ю. Повышение качества электротехнических деталей комбинированным методом обработки.....	65
Барсуков Г.В., Шоркин В.С., Фроленкова Л.Ю., Кожус О.Г., Кожус С.В. Жизненный цикл абразивного зерна в полимерной оболочке в процессе гидроабразивной резки.....	72

Машиноведение и мехатроника

Сытин А.В., Кузавка А.В., Зайцев П.Е. Способы обеспечения минимального износа рабочей поверхности лепестковых подшипников в период пуска и останова.....	80
Корнаев А.В., Зарецкий Р.К. Применение методов машинного обучения для управления траекториями движения роторов с лепестковыми подшипниками при смазке маловязкими жидкостями.....	88
Прокопов Е.Е., Горин А.В., Токмаков Н.В. Совершенствование работы амортизатора прерывистого действия методами статистических испытаний и имитационного моделирования.....	99
Корнаев А.В., Фетисов А.С., Казаков Ю.Н. Экспериментальный стенд для исследования систем активного управления на основе нейронных сетей.....	107
Родичев А.Ю., Грядунцова Е.Н., Токмакова М.А. Влияния силы инерции на прочность сцепления антифрикционного покрытия.....	112
Антипин Д.Я., Борзенков М.И., Воробьев В.И., Дорофеев О.В., Злобин С.Н., Измеров О.В., Самогланов А.В. Объектная модель технических решений для проектирования тягового привода колесно-моторного блока.....	118

Приборы, биотехнические системы и технологии

Локтионова Ю.И., Жарких Е.В., Жеребцова А.И., Козлов И.О., Жеребцов Е.А., Масалыгина Г.И., Дунаев А.В. Исследование возрастных и патологических особенностей параметров микрогемодинамики в норме и при сахарном диабете 2 типа с помощью носимых лазерных доплеровских флоуметров.....	127
Шуплецов В.В., Кандурова К.Ю., Серёгина Е.С., Потапова Е.В., Дрёмин В.В., Мамошин А.В., Подмастерьев К.В., Дунаев А.В. Устройство для флуоресцентной визуализации опухолевой ткани.....	135

Контроль, диагностика, испытания и управление качеством

Савин Л.О. Применение метода критических сечений при прогнозировании надежности изделий.....	143
Петров С.П., Подмастерьев К.В., Маркин Н.И., Никитенко О.С. Оценка качества системы управления централизованным теплоснабжением графо-параметрическим методом.....	149

Editorial Committee

Editor-in-chief

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

Editor-in-chief Assistants:

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

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

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

Savin L.A. Doc. Sc. Tech., Prof.

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

Member of editorial board:

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

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

Dyakonov A.A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Emelyanov S.G. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Zapomel Ya. Doc. Sc. Tech., Prof. (Czech Republic)

Zubchaninov V.G. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

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

Kopylov Yu.R. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Executive secretary:

Tyukhta A.V. Candidate Sc. Tech.

Address

302030 Orel, Moskovskaya ul., 34

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

http://oreluniver.ru

E-mail: radsu@rambler.ru

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

Index on the catalogue of the
«Pressa Rossii» 29504

© Orel State University, 2019

Contents

Theoretical mechanics and its applications

Dologlonyan A.V., Matvienko V.T. Use of local climatic resources of cold by means of organic cycle	3
Renkine cycles power plants	12
Popov I.P. «Orthogonal» capacities under mechanical oscillations	

Mechanics of deformable solids, dynamics and strength

Lagutina A.A., Manueva M.V., Antipin D.Ya., Borzenkov M.I. Designing of optimal structures of body cars with account of initial imperfections	16
---	----

Machine-building technologies and equipment

Yakimovich B.A., Dombrachev A.N., Solomennikova S.I., Schemyakina E.H. Engineering method of calculation for labor intensity of devices, press-forms stamps and tooling using cam system «measure»	22
Bogutsky V.B., Shron L.B. Evaluation of the stability of technological process of processing with the using statistical analysis	32
Panin A.A., Burilich I.N., Tyutyunov D.N., Studenikina L.I. Some design features constructions of wafer mechanical mills with screw gasket	41
Komkov M.A., Badanina Yu.V., Bolotin Yu.Z., Vasilyeva T.V. Cryogenic pipelines of aircraft from wrapped polyimide fetroplastic film	45
Kudryavtsev S.V., Tarapanov A.S., Selemenov M.F. Determination of relative changes in the temperature of the deployment process for application of nano-coatings to the cutting part of the tool	53
Ignatov A.V., Rodionova N.A., Tagiltsev S.V. Original classification of boring arbors with antivibration effects	59
Tkachenko A.N., Selemenova E.M., Cherepenko A.A., Frolenkova L.Yu. Quality improvement of electrotechnical parts by combined method of processing	65
Barsukov G.V., Shorkin V.S., Frolenkova L.Yu., Kozhus O.G., Kozhus S.V. The life cycle of abrasive grain in a polymer shell in the process of waterjet cutting	72

Machine Science and Mechatronics

Sytin A.V., Kuzavka A.V., Zaycev P.E. Methods to ensure minimum wear work surface bearings with elastic elements in the period of starting and stopping	80
Kornaev A.V., Zaretskiy R.K. Application of machine learning methods to control the trajectories of the rotors with foil bearings while lubricating with low-viscosity fluids	88
Prokopov E.E., Gorin A.V., Tokmakov N.V. Perfection of work of the damper interrupted action by statistical methods testing and imitation modeling	99
Kornaev A.V., Fetisov A.S., Kazakov Yu.N. Experimental assembly for study of active control systems based on neural networks	107
Rodichev A.Yu., Griadynova E.N., Tokmakova V.A. Influence of force of inertia on the strength of coupling of antifriction coating	112
Antipin D.Ya., Borzenkov M.I., Vorobyev V.I., Dorofeyev O.V., Zlobin S.N., Izmerov O.V., Samotkanov A.V. The object model technical solutions for the design of traction drive of a wheel-motor unit	118

Devices, biotechnical systems and technologies

Loktionova Yu.I., Zharkikh E.V., Zherebtsova A.I., Kozlov I.O., Zherebtsov E.A., Masalygina G.I., Dunaev A.V. Study of age-related and pathological features of microhemodynamics in healthy volunteers and patients with type 2 diabetes mellitus by wearable laser doppler flowmetry devices	127
Shupletsov V.V., Kandurova K.Y., Seryogina E.S., Potapova E.V., Dremine V.V., Mamoshin A.V., Podmasteryev K.V., Dunaev A.V. Device for fluorescence imaging of tumor tissues	135

Monitoring, Diagnostics, Testing and Quality Management

Savin L.O. Application of the critical section method for forecasting product reliability	143
Petrov S.P., Podmasteryev K.V., Markin N.I., Nikitenko O.S. Quality control of the centralized heat supply management system by the graphic-parametric method	149

А.В. ДОЛОГЛОНЯН, В.Т. МАТВЕЕНКО

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ХОЛОДА С ПОМОЩЬЮ УСТАНОВОК ОРГАНИЧЕСКОГО ЦИКЛА РЕНКИНА

Аннотация. Предметом рассмотрения в статье является возможность использования местных климатических ресурсов холода с помощью установок органического цикла Ренкина (ОЦР), а также оптимизация параметров с целью дальнейшего повышения его экономичности.

Установлено, что использование дополнительных турбин в составе энергетической установки органического цикла Ренкина позволяет использовать местный климатический ресурс холода для повышения ее эффективности.

Определено, что параметром для оптимизации удельной выработки установки ОЦР является температура конденсации цикла, жестко связанная с температурой окружающей среды.

Показано, что рабочие тела с большей критической температурой дают меньший прирост удельной годовой выработки и малоэффективны для источника низкопотенциальной энергии (ИНЭ) с низкой температурой ($< 160\text{ }^{\circ}\text{C}$) и высокоэффективны для ИНЭ с высокой температурой ($\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$). При средних температурах ИНЭ ($\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$) и аммиак и R-134a показывают примерно одинаковые результаты.

Ключевые слова: органический цикл Ренкина, источник низкопотенциальной энергии, температура конденсации, эффективность турбины.

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., 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. 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. Сетевой ресурс: https://ru.wikipedia.org/wiki/Климат_Якутска [Режим доступа 03.10.19].
8. Григорьев В.А., Зорин В.М. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент. Справочник/ Под общ. ред. чл.-корр. АН СССР В.А. Григорьева, В.М. Зорина. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 560 с.
9. Слободянюк Л.И. Проектирование судовых газотурбинных двигателей. – К.: ИСМО, 1996. – 168с.
10. Дологлonyaн А.В. Оптимизация органического цикла Ренкина для источников низкопотенциальной энергии / А.В. Дологлonyaн, В.Т. Матвеев // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: ИПТС, 2019. Вып. 3 (37). – С. 153–162.
11. Слободянюк Л.И. Поляков В.И. Судовые паровые и газовые турбины и их эксплуатация. – Л.: Судостроение, 1983. – 360 с.
12. Сетевой ресурс: http://neochemical.ru/File/DOWTHERM_A_TDS_Russian.pdf [Режим доступа 31.05.19].
13. Сетевой ресурс: <https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/> [Режим доступа 31.05.19].

Российская Федерация, г. Севастополь
Кандидат технических наук, заведующий
лабораторией, доцент
E-mail: dologlonyan@hotmail.com

Российская Федерация, г. Севастополь
Доктор технических наук, профессор
E-mail: mvt3900@mail.ru

A.V. DOLOGLONYAN, V.T. MATVIENKO

USE OF LOCAL CLIMATIC RESOURCES OF COLD BY MEANS OF ORGANIC CYCLE RANKINE CYCLES POWER PLANTS

Abstract. *Consideration subject in article is the possibility of use of local climatic resources of cold by means of the organic cycle of Rankine (ORC) power plants, and also optimization of parameters for the purpose of further increase in its profitability.*

It is established that use of additional turbines as a part of the power plant of an organic Rankine cycle allows to use a local climatic resource of cold for increase in its efficiency.

It is defined that the parameter for optimization of specific elaboration of the ORC plants is temperature of condensation of a cycle which is rigidly connected with ambient temperature.

It is shown that working bodies with a bigger critical temperature give a smaller gain of specific annual development and are ineffective for a source of low-potential energy (SLPE) with a low temperature ($<160\text{ }^{\circ}\text{C}$) and are highly effective for SLPE with high temperature ($\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$). At average temperatures of SLPE ($\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$) and ammonia and R-134a show approximately identical results.

Keywords: *organic Rankine cycle of, source of low-potential energy, condensation temperature, efficiency of the turbine.*

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. Setevoy resurs: https://ru.wikipedia.org/wiki/Klimat_YAkutsk [Rezhim dostupa 03.10.19].
8. Grigor'ev V.A., Zorin V.M. Teoreticheskie osnovy teplotekhniki. Teplotekhnicheskij eksperiment. Spravochnik/ Pod obshch. red. chl.-korr. AN SSSR V.A. Grigor'eva, V.M. Zorina. – 2-e izd., pererab. – M.: Energoatomizdat, 1988. – 560 s.
9. Slobodyanyuk L.I. Proektirovanie sudovyh gazoturbinnih dvigatelej. – K.: ISMO, 1996. – 168s.
10. Dologlonyan A.V. Optimizaciya organicheskogo cikla Renkina dlya istochnikov nizkopotencial'noj energii / A.V. Dologlonyan, V.T. Matveenko // Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy. – Sevastopol': IPTS, 2019. Vyp. 3 (37). – S. 153–162.
11. Slobodyanyuk L.I. Polyakov V.I. Sudovye parovye i gazovye turbiny i ih ekspluatatsiya. – L.: Sudo-stroenie, 1983. – 360 s.
12. Setevoy resurs: http://neochemical.ru/File/DOWTHERM_A_TDS_Russian.pdf [Rezhim dostupa 31.05.19].
13. Setevoy resurs: <https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/> [Rezhim dostupa 31.05.19].

Dologlonyan Andrey Vartazarovich

FSBSI Institute of nature and technical systems,
Sevastopol State University, Russian Federation,
Sevastopol
Candidate of Technical Sciences, Chief of Laboratory,
Professor Assistant
E-mail: dologlonyan@hotmail.com

Matvienko Valerii Timofeevich

Black Sea the highest naval awards of the Red Star
school of P.S. Nakhimov, Russian Federation,
Sevastopol
Doctor of Technical Sciences, Professor
E-mail: mvt3900@mail.ru

«ОРТОГОНАЛЬНЫЕ» МОЩНОСТИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЯХ

Аннотация. Показано, что большинство приводов машин и механизмов являются электромеханическими, поэтому реактивная механическая мощность при колебаниях массивных заготовок, деталей и узлов в соответствии с законом сохранения энергии трансформируется в реактивную электрическую мощность питающей сети, существенно ухудшая качество тока и вызывая заметные потери в проводах при ее циркуляции. В этой связи задача корректного учета как активной, так и реактивной механических мощностей для целей энергосбережения, а также силовых конструкторских расчетов является актуальной. Цель работы заключается в установлении взаимосвязи между активной, реактивной и полной мощностями при механических колебаниях. Активная и реактивная механические мощности, являясь условно «ортогональными», не складываются. Для полной мощности справедлив аналог теоремы Пифагора. Инертный и упругий реактансы характеризуют свойства массивного и упругого тел оказывать сопротивление приводу, понуждающему их совершать колебания.

Ключевые слова: привод, активная, реактивная, полная мощности, инертный, упругий реактансы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владимиров, А.А. Геометрическая модель шероховатости при тчении с маятниковыми колебаниями резца / А.А. Владимиров, А.Н. Афонин, А.В. Макаров, М.Ю. Назарова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2019. № 4–1(336). с. 15–19.
2. Коробко, В.И. Экспериментальное определение основной частоты колебаний пластинок в виде ромба и равнобедренного треугольника / В.И. Коробко, Н.Г. Калашникова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2018. № 3(329). с. 57–63.
3. Коробко, В.И. Взаимосвязь максимального прогиба и основной частоты колебаний пластинок / В.И. Коробко, А.А. Черняев, С.В. Шляхов, В.О. Тюрин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2018. № 2(328). с. 3–8.
4. Попов, И.П. Дифференциальные уравнения двух механических резонансов / И.П. Попов // Прикладная физика и математика. 2019. № 2. С. 37–40. DOI: 10.25791/pfim.02.2019.599
5. Попов, И.П. Применение символического (комплексного) метода для расчета сложных механических систем при гармонических воздействиях / И.П. Попов // Прикладная физика и математика. 2019. № 4. С. 14–24. DOI: 10.25791/pfim.04.2019.828
6. Морева, И.Н. Определение коэффициентов волнового демпфирования методом свободных затухающих колебаний / И.Н. Морева, Е.В. Хромов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2019. № 4–2(336). с. 73–76.
7. Прокопов, Е.Е. Методы исследования процессов в системах виброзащиты с управляемой жесткостью / Е.Е. Прокопов, А.В. Горин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2019. № 2(334). с. 52–59.
8. Лопы, И.В., Приближенное решение задачи о продольных волнах напряжений в упруго вязкопластических стержнях / И.В. Лопы // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2019. № 2(334). с. 14–17.
9. Леоненко, Д.В. Колебания трехслойной цилиндрической оболочки в упругой среде под действием осесимметричных динамических нагрузок / Д.В. Леоненко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2018. № 3(329). с. 64–72.
10. Попов, И.П. Антирезонанс – резонанс скоростей / И.П. Попов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2019. Т 20. № 6. С. 362–366. [https://doi.org/10.17587/mau.20.362–366](https://doi.org/10.17587/mau.20.362-366)

Попов Игорь Павлович

Курганский государственный университет

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

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

8–951–273–80–87

E-mail: ip.popow@yandex.ru

I.P. POPOV

«ORTHOGONAL» CAPACITIES UNDER MECHANICAL OSCILLATIONS

Abstract. It is shown that most drives of machines and mechanisms are electromechanical, therefore, reactive mechanical power during vibrations of massive workpieces, parts and assemblies in accordance with the law of conservation of energy is transformed into reactive electric power of the supply network, significantly worsening the quality of the current and causing noticeable losses in the wires during its circulation. In this regard, the task of correctly accounting for both active and reactive mechanical capacities for energy conservation, as well as power design

calculations is relevant. The purpose of the work is to establish the relationship between active, reactive and full powers during mechanical vibrations. Active and reactive mechanical powers, being conditionally "orthogonal", do not add up. For full power, an analogue of the Pythagorean theorem is valid. Inert and elastic reactants characterize the properties of massive and elastic bodies to resist the drive, forcing them to oscillate.

Keywords: drive, active, reactive, full power, inert, elastic reactants.

BIBLIOGRAPHY

1. Vladimirov, A.A. Geometricheskaya model sherokhovatosti pri tochenii s mayatnikovymi kolebaniyami reztsa / A.A. Vladimirov, A.N. Afonin, A.V. Makarov, M.YU. Nazarova // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2019. № 4–1(336). S. 15–19.
2. Korobko, V.I. Eksperimentalnoye opredeleniye osnovnoy chastoty kolebaniy plastinok v vide romba i ravnobedrennogo treugolnika / V.I. Korobko, N.G. Kalashnikova // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2018. № 3(329). S. 57–63.
3. Korobko, V.I. Vzaimosvyaz maksimalnogo progiba i osnovnoy chastoty kolebaniy plastinok / V.I. Korobko, A.A. Chernyayev, S.V. Shlyakhov, V.O. Tyurin // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2018. № 2(328). S. 3–8.
4. Popov, I.P. Differentsialnyye uravneniya dvukh mekhanicheskikh rezonansov / I.P. Popov // Prikladnaya fizika i matematika. 2019. № 2. S. 37–40. DOI: 10.25791/pfim.02.2019.599
5. Popov, I.P. Primeneniye simvolicheskogo (kompleksnogo) metoda dlya rascheta slozhnykh mekhanicheskikh sistem pri garmonicheskikh vozdeystviyakh / I.P. Popov // Prikladnaya fizika i matematika. 2019. № 4. S. 14–24. DOI: 10.25791/pfim.04.2019.828
6. Moreva, I.N. Opredeleniye koeffitsiyentov volnovogo dempfirovaniya metodom svobodnykh zatukhayushchikh kolebaniy / I.N. Moreva, Ye.V. Khromov // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2019. № 4–2(336). S. 73–76.
7. Prokopov, Ye.Ye. Metody issledovaniya protsessov v sistemakh vibrozashchity s upravlyayemoy zhestkostyu / Ye.Ye. Prokopov, A.V. Gorin // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2019. № 2(334). S. 52–59.
8. Lopa, I.V., Priblizhennoye resheniye zadachi o prodolnykh volnakh napryazheniy v uprugoy vyazkoplasticheskikh sterzhnyakh / I.V. Lopa // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2019. № 2(334). S. 14–17.
9. Leonenko, D.V. Kolebaniya trekhslonnoy tsilindricheskoy obolochki v uprugoy srede pod deystviyem osesimmetrichnykh dinamicheskikh nagruzok / D.V. Leonenko // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2018. № 3(329). S. 64–72.
10. Popov, I.P. Antirezonsans – rezonsans skorostey / I.P. Popov // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravleniye. 2019. T 20. № 6. S. 362–366. <https://doi.org/10.17587/mau.20.362–366>

Popov Igor Pavlovich

Kurgan State University

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

640002, Kurgan, Tomina str., 106–52

8–951–273–80–87

E-mail: ip.popow@yandex.ru

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА, ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ

УДК 629.02.539.4

А.А. ЛАГУТИНА, М.В. МАНУЕВА, Д.Я. АНТИПИН, М.И. БОРЗЕНКОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КУЗОВОВ ВАГОНОВ С УЧЕТОМ НАЧАЛЬНЫХ НЕСОВЕРШЕНСТВ

Аннотация. Предложена методика проектирования оптимальных конструкций кузовов вагонов с учетом начальных несовершенств. Получены расчетные зависимости для определения максимально допустимой длины начальной трещины и максимально допустимой величины начальной изогнутости несущих элементов кузовов.

Ключевые слова: начальная изогнутость, трещиноподобные дефекты, продольно–поперечный изгиб, кузов вагона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лозбинев, В.П.. Оптимальное проектирование кузовов вагонов / В.П. Лозбинев, Ф.Ю. Лозбинев; под ред. В.П. Лозбинева. – Брянск: Изд-во БГТУ, 2012. – 178 с.
2. Martin Philip Bendsoe, Ole Sigmund Topology Optimization: Theory, Methods, and Applications Springer Science & Business Media, 2003 370 p.

3. J. L. Cao et al., "Topology Optimization for the Light Rail Vehicle Body Based on Sub-Structure Technology", *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 367, pp. 145–150, 2013
4. Л.В. Степанова Математические методы механики разрушения. Физико–математическая литература. 2009, 335 с.
5. Коновалов, А.Б. Сварные соединения: учебное пособие / А.Б. Коновалов, А.Л. Кириленко, М.В. Аввакумов. – ГОУВПО СПбГТУРП. – СПб., 2010. – 97 с.
6. Николаев, Г.А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформаций конструкций: учеб. пособие / Г.А. Николаев, С.А. Куркин, В.А. Винокуров. – М.: Высш. школа, 1982. – 272 с.
7. Perez N. *Fracture Mechanics*. Springer, 2016, 418 p.
8. Корчагин И.Б. Проектирование сварных конструкций. Воронежский гос. техн. ун–т– 2004. – 140 с.
9. Кудрявцев И.В., Наумченков Н.Е. Усталость сварных конструкций. М, «Машиностроение», 1976. 270 с.
10. В. В. Овчинников Дефектация сварных швов и контроль качества сварных соединений (3–е изд.) учебник Академия. 2017. 224 с.
11. Работнов, Ю.Н. Введение в механику разрушения / Ю.Н. Работнов. URSS, 2017. – 80 с.
12. Партон, В.З. Механика упруго–пластического разрушения / В.З. Партон, Е.М. Морозов. – М.: Наука, 1985. – 504 с.
13. Е.М. Морозов, Г.П. Никишков Метод конечных элементов в механике разрушения. –Либроком 2017 254 с.
14. G. Meschut, V. Janzen, T. Olfermann Innovative and Highly Productive Joining Technologies for Multi–Material Lightweight Car Body Structures *Journal of Materials Engineering and Performance* 2014, Volume 23, Issue 5, pp 1515–1523
15. Кохан, Н. А. Расчет оптимизации крыш кузовов вагонов с учетом начальной погиби / Н. А. Кохан // Повышение динамических качеств подвижного состава в условиях Сибирского региона: Межвуз. тем. сб. науч. тр.. – Омск: ОМГАПС, 1995. – С. 71–73.
16. Лозбинец В.П. Развитие методики анализа напряженного состояния и устойчивости несущих элементов кузовов вагонов. Вестник Брянского государственного технического университета. 2004. № 1 (1). С. 81–88.
17. Суслов, В.П. Строительная механика корабля и основы теории упругости / В.П. Суслов, Ю.П. Кочанов, В.Н. Спихтаренко. – Л.: Судостроение, 1972. – 720 с.
18. D. Thorby, *Structural Dynamics and Vibration in Practice: An Engineering Handbook*, Elsevier, Boston, Mass, USA, 2008. 480 p.
19. J. König, G. Kopp, J. Winter, H. E. Friedrich, M. Schön Methodology for force flow optimised car body structures and implementation 12th Stuttgart International Symposium. 2012. 13 p.
20. D. Wennberg Light–Weighting Methodology in Rail Vehicle Design through Introduction of Load Carrying Sandwich Panels Royal Institute of Technology (KTH) 2011 29 p.

Лагутина Анжела Алексеевна

Брянский государственный
технический университет, г. Брянск
Кандидат технических наук, доцент, заведующий
кафедрой «Подвижной состав железных дорог»
E–mail: wagon@tu–bryansk.ru

Антипин Дмитрий Яковлевич

Брянский государственный
технический университет, г. Брянск
Кандидат технических наук, доцент,
директор Учебно–научного института транспорта
E–mail: adya2435@gmail.com

Мануева Марина Владимировна

Брянский государственный
технический университет, г. Брянск
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Подвижной состав железных дорог»
E–mail: wagon@tu–bryansk.ru

Борзенков Михаил Иванович

ОГУ имени И.С. Тургенева, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент, начальник
отдела научных изданий
E–mail: bim5155@yandex.ru

A.A. LAGUTINA, M.V. MANUEVA, D.YA. ANTIPIN, M.I. BORZENKOV

DESIGNING OF OPTIMAL STRUCTURES OF BODY CARS WITH ACCOUNT OF INITIAL IMPERFECTIONS

Abstract. A method for designing optimal car body structures with initial imperfections is proposed. The calculated dependences for determining the maximum allowable length of the initial crack and the maximum allowable value of the initial curvature of the bearing elements of the body are obtained.

Keywords: initial curvature, slit-shaped defects, longitudinal–transverse bend, carriage body.

BIBLIOGRAPHY

1. Lozbinev, V.P.. Optimalnoe proektirovanie kuzovov vagonov / V.P. Lozbinev, F.YU. Lozbinev; pod red. V.P. Lozbineva. – Bryansk: Izd–vo BGTU, 2012. – 178 s.
2. Martin Philip Bendsoe, Ole Sigmund *Topology Optimization: Theory, Methods, and Applications* Springer Science & Business Media, 2003 370 p.

3. J.L. Cao et al., "Topology Optimization for the Light Rail Vehicle Body Based on Sub-Structure Technology", Applied Mechanics and Materials, Vol. 367, pp. 145–150, 2013/
4. L.V. Stepanova Matematicheskie metody mekhaniki razrusheniya. Fiziko–matematicheskaya literatura. 2009, 335 s.
5. Konovalov, A.B. Svarnye soedineniya: uchebnoe posobie / A.B. Konovalov, A.L. Ki–rilenko, M.V. Avvakumov. – GOUVPO SPbGTURP. – SPb., 2010. – 97 s.
6. Nikolaev, G.A. Svarnye konstrukcii. Prochnost svarnyh soedinenij i deforma–cij konstrukcij: ucheb. posobie / G.A. Nikolaev, S.A. Kurkin, V.A. Vinokurov. – M.: Vyssh. shkola, 1982. – 272 s.
7. Perez N. Fracture Mechanics. Springer, 2016, 418 p.
8. Korchagin I.B. Proektirovanie svarnyh konstrukcij. Voronezhskij gos. tekhn. un–t– 2004. – 140 s.
9. Kudryavcev I.V., Naumchenkov N.E. Ustalost svarnyh konstrukcij. M, «Mashino–stroenie», 1976. 270 s.
10. V. V. Ovchinnikov Defektaciya svarnyh shvov i kontrol kachestva svarnyh soedi–nenij (3–e izd.) uchebnik Akademiya. 2017. 224 s.
11. Rabotnov, YU.N. Vvedenie v mekhaniku razrusheniya / YU.N. Rabotnov. URSS, 2017. – 80 s.
12. Parton, V.Z. Mekhanika uprug–plasticheskogo razrusheniya / V.Z. Parton, E.M. Morozov. – M.: Nauka, 1985. – 504 s.
13. E.M. Morozov, G.P. Nikishkov Metod konechnykh elementov v mekhanike razrushe–niya. – Librokom 2017 254 s.
14. G. Meschut, V. Janzen, T. Olfermann Innovative and Highly Productive Joining Tech–nologies for Multi–Material Lightweight Car Body Structures Journal of Materials Engineering and Performance 2014, Volume 23, Issue 5, pp 1515–1523
15. Kohan, N. A. Raschet optimizacii krysh kuzovov vagonov s uchetoм nachalnoj pogi–bi / N. A. Kohan // Povyshenie dinamicheskikh kachestv podvizhnogo sostava v usloviyah Sibirskogo regiona: Mezhevuz. tem. sb. nauch. tr.. – Omsk: OMGAPS, 1995. – S. 71–73.
16. Lozbinov V.P. Razvitie metodiki analiza napryazhennogo sostoyaniya i ustojchivo–sti nesushchih elementov kuzovov vagonov. Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2004. № 1 (1). S. 81–88.
17. Suslov, V.P. Stroitel'naya mekhanika korablya i osnovy teorii uprugosti / V.P. Suslov, YU.P. Kochanov, V.N. Spihtarenko. – L.: Sudostroenie, 1972. – 720 s.
18. D. Thorby, Structural Dynamics and Vibration in Practice: An Engineering Handbook, Elsevier, Boston, Mass, USA, 2008. 480 p.
- 19 J. König, G. Kopp, J. Winter, H. E. Friedrich, M Schön Methodology for force flow optimised car body structures and implementation 12th Stuttgart International Symposium. 2012. 13 p.
20. D. Wennberg Light–Weighting Methodology in Rail Vehicle Design through Introduction of Load Carrying Sandwich Panels Royal Institute of Technology (KTH) 2011 29 p.

Lagutina Angela Alekseevna

Bryansk State Technical University, Bryansk
Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of
Railway Rolling Stock
E–mail: wagon@tu–bryansk.ru

Manueva Marina Vladimirovna

Bryansk State Technical University, Bryansk
Ph.D., Associate Professor
of the Department of Railway Rolling Stock
E–mail: wagon@tu–bryansk.ru

Antipin Dmitry Yakovlevich

Bryansk State Technical University, Bryansk
Ph.D., Associate Professor, Director of the Educational
and Scientific Institute of Transport
E–mail: adya2435@gmail.com

Borzenkov Mikhail Ivanovich

Orel State university, Orel
Candidate of technical sciences, Associate Professor,
head of the department of scientific publications
E–mail: bim5155@yandex.ru

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ **И ОБОРУДОВАНИЕ**

УДК 658.011.56

Б.А. ЯКИМОВИЧ, А.Н. ДОМБРАЧЕВ, С.И. СОЛОМЕННИКОВА, Э.Х. ШЕМЯКИНА

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТРУДОЕМКОСТИ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ, ШТАМПОВ ПРЕСС–ФОРМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗНОГО НОРМИРОВАНИЯ

***Аннотация.** В настоящей статье рассматриваются основные аспекты, связанные с математическим обеспечением автоматизированной системы «Линейка». По целевому назначению указанная система*

относится к технологическим САПР общего машиностроения (САПР–Т). Иначе подобные САПР принято называть системами технологической подготовки производства АСТПП или САМ–системами (Computer Aided Manufacturing). Основной функцией САПР–Т «Линейка» является оценка прогнозной трудоемкости и затрат на изготовление деталей и изделий инструментального производства. Система обеспечивает автоматизированный расчет указанных выше технико–экономических показателей для следующих групп класса 28, выделенных в соответствии с нормативными документами ЕСКД.

Ключевые слова: трудоемкость приспособлений, оценка трудоемкости, методика расчета и нормирования, показатель сложности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 23501.101–87. Системы автоматизированного проектирования. Основные положения.
2. И. П. Норенков. Автоматизированное проектирование [Серия учебных пособий]. – М., 2000. – 188 с.
3. ГОСТ 2.201–80. ЕСКД. Обозначение изделий и конструкторских документов.
4. Классификатор ЕСКД. Класс 28. Оснастка технологическая, инструмент режущий: офиц. изд–е. – М., 1986. – 55 с.
5. Инструкция по определению плановых нормативов в инструментальном производстве с использованием специальных логарифмических счетных линеек: к техническому отчету по теме №Т9–140–55/5063 / Г.Э. Слезингер, В.В. Голубева, Л.М. Левкович, В.Г. Ершова, В.Г. Александров. М.: Изд–во НИТИ–40, 1955. – 78 с., ил.
6. Домбрачев А.Н., Коршунов А.И. Формирование объектной модели изделия инструментального производства. // Экономика и производство. – 2004. – № 2. – С. 38–40.
7. Якимович, Б.А. Анализ эффективности и совершенствование переналаживаемых производственных систем машиностроения: дис. д–ра техн. наук: 05.02.08 / Борис Анатольевич Якимович; Ижев. гос. техн. ун–т, Урал. гос. техн. ун–т. – Ижевск, 1994. – 333 с.
8. Tyurin I. Yu., Dombrachev A.N., Korshunov A.I., Kuznetsov A.P., Yakimovich B.A. and Galiakhmetov R.A. Automated Chronometric System. Russian Engineering Research, 2017, Vol. 37, No. 8, pp. 720–722. DOI: 10.3103/S1068798X17080202.
9. A.N. Dombrachev, B.A. Yakimovich, A.I. Korshunov, and A. D. Krutikhin. Effectiveness of the Lineika CAD System in Assessing the Precision of Time Standards, Russian Engineering Research, 2015, Vol. 35, No. 5, pp. 369–371. DOI: 10.3103/S1068798X1505010X.
10. Božek, P. and Pokorný, P., Analysis and evaluation of differences dimensional products of production system, Appl. Mech. Mater., 2014, vol. 611, no. 10, pp. 339–345.

Якимович Борис Анатольевич

ФГАОУ ВО "Севастопольский государственный университет", г. Севастополь
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети»
299053, г. Севастополь, Университетская улица, 33
Тел. (869)243–52–92
E–mail: BAYakimovich@sevsu.ru

Домбрачев Александр Николаевич

ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», г. Ижевск
Кандидат технических наук, начальник отдела интеллектуальной собственности
426069, г. Ижевск, Студенческая улица, 7
Тел. (3412)77–60–55
E–mail: mazak@inbox.ru

Соломенникова Светлана Ивановна

ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», г. Ижевск
Кандидат технических наук, доцент
426069, г. Ижевск, Студенческая улица, 7
Тел. (3412)77–60–55
E–mail: S_solomennikova@mail.ru

Шемякина Эльвира Хамитовна

ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», г. Ижевск
Аспирант, старший методист
426069, г. Ижевск, Студенческая улица, 7
Тел. (3412)77–60–55
E–mail: beam-new@mail.ru

B.A. YAKIMOVICH, A.N. DOMBRACHEV, S.I. SOLOMENNIKOVA, E.H. SCHEMYAKINA

ENGINEERING METHOD OF CALCULATION FOR LABOR INTENSITY OF DEVICES, PRESS–FORMS STAMPS AND TOOLING USING CAM SYSTEM «MEASURE»

Abstract. This article discusses the main aspects related to the software of the automated system «Measure». For the intended purpose, this system refers to technological systems for general engineering. Otherwise, such computer applications are usually called technological preparation systems or CAM systems (Computer Aided Manufacturing).

The main function of the CAM «Measure» is to assess the predictive complexity and cost of manufacturing parts and products of tool production. The system provides an automated calculation of the above technical and economic indicators for the following groups of class 28, allocated in accordance with regulatory documents: cutting tool; measuring tool; appliances, dies, molds, tooling.

Keywords: labor intensity of devices, evaluation labor intensity, method of calculation and rationing, indicator of complexity.

BIBLIOGRAPHY

1. GOST 23501.101–87. Computer aided design. The main provisions.
2. I. P. Norenkov. Computer Aided Design [Tutorial Series]. – M., 2000. – 188 p.
3. GOST 2.201–80. ESKD. Designation of products and design documents.
4. Classifier ESKD. Class 28. Technological equipment, cutting tool: official. ed. – M., 1986. – 55 p.
5. Instructions for determining the planned standards in instrumental production using special logarithmic calculating lines: to the technical report on the topic No. T9–140–55 / 5063 / G.E. Slezinger, V.V. Golubeva, L.M. Levkovich, V.G. Ershova, V.G. Alexandrov. M.: Publishing house NITI–40, 1955. – 78 p.
6. Dombrachev A.N., Korshunov A.I. Formation of the object model of the tool production. // Economy and production. – 2004. – № 2. – p. 38–40.
7. Yakimovich, B.A. Analysis of the effectiveness and improvement of readjusted production systems of mechanical engineering: dis. Dr. techn. Sciences: 05.02.08 / Boris Anatolevich Yakimovich; Izhev. state tech. Univ, Ural. state tech. un–t – Izhevsk, 1994. – 333 p.
8. Tyurin I. Yu., Dombrachev A.N., Korshunov A.I., Kuznetsov A.P., Yakimovich B.A. and Galiakhmetov R.A. Automated Chronometric System. Russian Engineering Research, 2017, Vol. 37, No. 8, pp. 720–722. DOI: 10.3103/S1068798X17080202.
9. A.N. Dombrachev, B.A. Yakimovich, A.I. Korshunov, and A. D. Krutikhin. Effectiveness of the Lineika CAD System in Assessing the Precision of Time Standards, Russian Engineering Research, 2015, Vol. 35, No. 5, pp. 369–371. DOI: 10.3103/S1068798X1505010X.
10. Božek, P. and Pokorný, P., Analysis and evaluation of differences dimensional products of production system, Appl. Mech. Mater., 2014, vol. 611, no. 10, pp. 339–345.

Yakimovich Boris Anatolievich

«Sevastopol State University», Sevastopol

Prof. Dr.–Ing., Head of the Department "Renewable Energy Sources and Electrical Systems and Networks"
299053, », Sevastopol, Universitetskaya st., 33
Ph.: (869)243–52–92
E–mail: XXX@mail.ru

Dombrachev Alexander Nikolaevich

«Kalashnikov Izhevsk State Technical University»,
Izhevsk

Ph.D. in Engineering Science, Head of the Intellectual Property Department
426069, Izhevsk, Studencheskaya st., 7
Ph.: (3412)77–60–55
E–mail: mazak@inbox.ru

Solomennikova Svetlana Nikolaevna

«Kalashnikov Izhevsk State Technical University», Izhevsk

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor
426069, Izhevsk, Studencheskaya st., 7
Ph.: (3412)77–60–55
E–mail: S_solomennikova@mail.ru

Shemyakina Elvira Hamitovna

«Kalashnikov Izhevsk State Technical University»,
Izhevsk

Postgraduate student, Chief resource specialist
426069, Izhevsk, Studencheskaya st., 7
Ph.: (3412)77–60–55
E–mail: beam-new@mail.ru

УДК 658.5.012.1

В.Б. БОГУЦКИЙ, Л.Б. ШРОН

ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Аннотация В условиях серийного производства для оценки стабильности процесса обработки и определения причин, вызывающих отклонения показателей качества от заданных, используют метод проверки стабильности процесса обработки с использованием статистического анализа. В статье, на примере технологии производства детали «Ось», показаны возможности использованием статистического анализа для стабилизации техпроцесса с применением диаграммы Парето, кривых распределения результатов выборок, карт Шухарта, диаграммы Исикавы и коэффициентов точности и настроенности. На основе установленных закономерностей, полученных в результате анализа диаграмм и аналитических расчетов, выделены параметры

процесса обработки, наиболее существенно влияющие на выходные характеристики деталей и причины возникновения брака. По результатам выполненного анализа в технологический процесс внесены коррективы и показано, что принятые меры по стабилизации качества деталей повысили стабильность технологии их производства и снизили количество бракованных деталей.

Ключевые слова: качество обработки, технологический процесс, точность обработки, стабильность, статистические методы анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов Б. И., Денисова А.Л., Берстенёва Е.Г. и др. Качество, эффективность и потребительская оценка системы технических изделий: моногр. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. – 112 с.
2. Борисов В.Н., Почукаева О.В., Балагурова Е.А., и др. Прогнозирование инновационного машиностроения: моногр. – М.: МАКС Пресс, 2015. – 180 с.
3. Genichi Taguchi, Subir Chowdhury, Yui Wu. Taguchis Quality Engineering Handbook. Publ. by John Wiley & Sons, Inc., 2005. – 1084 p.
4. Инженерия поверхности деталей / Колл. авт.; под ред. А.Г. Суслова. М.: Машиностроение. 2008. – 320 с.
5. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов. М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.
6. Технология машиностроения. Кн. 1. Основы технологии машиностроения. Под ред. С.Л. Мурашкина. М.: Высшая школа, 2003 – 278 с.
7. Tschätsch H. Applied machining technology. – Springer Science+Business Media, LLC., 2009. – 375 p.
8. Маталин А.А. Технология механической обработки: моногр. – М.: Машиностроение, 1977. – 464 с.
9. J. Paulo Davim. Modern machining technology. A practical guide. – Woodhead Publishing, 2011. – 412 p.
10. Юркевич В. В. Шероховатость поверхности детали после токарной обработки // СТИН. – 2006. – № 6. – С. 33–35.
11. Физико–математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения. В 10 т. Т.6. Качество обработки деталей машин: монография/ под ред. Ф.В. Новикова. – Одесса: Изд-во Одес. нац. политехн. ун-та, 2003. – 715с.
12. Филонов И.П., Медведев А.И. Вероятностно–статистические методы оценки качества в машиностроении. – Минск.: «Тесей», 2000. – 224 с.
13. Кумэ Х. Статистические методы повышения качества: пер. с англ. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 304 с.
14. Viorel–Mihai Nani. Statistical control of the technological process stability to manufacturing cylindrical parts into high series// MMS Engineering Journal, Magnolithe, Iss. 7, 2017. DOI 10.13140/RG.2.2.33528.65284.
15. Remco I. Leine, Nathan van de Wouw. Stability and convergence of mechanical systems with unilateral constraints. – Springer–Verlag Berlin Heidelberg, 2008. – 246 p.
16. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.
17. Р 50–601–20–91. Рекомендации по оценке точности и стабильности технологических процессов (оборудования). – М.: ВНИИС Госстандарта России, 1991. – 30 с.
18. Р 50.1.018–98 Обеспечение стабильности технологических процессов в системах качества по моделям стандартов ИСО серии 9000. Контрольные карты Шухарта. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. – 16 с.
19. Ishikawa K., Loftus J.H. Introduction to Quality Control: 3rd ed. – Tokyo: 3A Corp., 1990. – 435 p.
20. Богуцкий В.Б., Шрон Л.Б., Ягъяев Э.Э. Эксплуатация, обслуживание и диагностика технологических машин: учебное пособие. – М.: ИНФРА–М, 2019. – 356 с.

Богуцкий Владимир Борисович

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Кандидат технических наук, доцент кафедры
Технология машиностроения
229053, г. Севастополь, ул. Университетская 33
Тел. +7(978)–76–72–873
E–mail: bogutskivb@yandex.ru

Шрон Леонид Борисович

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Кандидат технических наук, доцент кафедры
Технология машиностроения
229053, г. Севастополь, ул. Университетская 33
Тел. +7(978)–74–47–546
E–mail: shronlb@mail.ru

V.B. BOGUTSKY, L.B. SHRON

EVALUATION OF THE STABILITY OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF PROCESSING WITH THE USING STATISTICAL ANALYSIS

Abstract *In the conditions of serial production to assess the stability of the processing process and determine the causes of deviations from the specified quality indicators, use the method of checking the stability of the processing process using statistical analysis. In the article, on the example of production technology of parts "Axis", shows the possibilities of using statistical analysis to stabilize the process with application of Pareto charts, the curves of distribution of the results of samples, maps of Shuhart, Ishikawa diagrams and coefficients of accuracy and attunement. On the basis of the established regularities obtained as a result of the analysis of diagrams and analytical calculations, the processing parameters that most significantly affect the output characteristics of parts and the causes of marriage are highlighted. According to the results of the analysis, the technological process has been corrected and it is shown that the measures taken to stabilize the quality of parts have increased the stability of their production technology and reduced the number of defective parts.*

Keywords: *processing quality, technological process, processing accuracy, stability, statistical methods of analysis.*

BIBLIOGRAPHY

1. Gerasimov B. I., Denisova A.L., Berstenyova E.G. i dr. Kachestvo, effektivnost i potrebitelskaya ocenka sistemy tekhnicheskikh izdelij: monogr. – Tambov: Izd-vo Tamb. gos. tekhn. un-ta, 2002. – 112 p
2. Borisov V.N., Pochukaeva O.V., Balagurova E.A., i dr. Prognozirovanie innovacionnogo mashino-stroeniya: monogr. – M.: MAKS Press, 2015. – 180 p.
3. Genichi Taguchi, Subir Chowdhury, Yulin Wu. Taguchis Quality Engineering Handbook. Publ. by John Wiley & Sons, Inc., 2005. – 1084 p.
4. Inzheneriya poverhnosti detalej / Koll. avt.; pod red. A.G. Suslova. M.: Mashinostroenie. 2008. – 320 p.
5. Bazrov B.M. Osnovy tekhnologii mashinostroeniya: Uchebnik dlya vuzov. M.: Mashinostroenie, 2005. – 736 p.
6. Tekhnologiya mashinostroeniya. Kn. 1. Osnovy tekhnologii mashinostroeniya. Pod red. S.L. Murashkina. M.: Vysshaya shkola, 2003 – 278 p.
7. Tschätsch H. Applied machining technology. – Springer Science+Business Media, LLC., 2009. – 375 p.
8. Matalin A.A. Tekhnologiya mekhanicheskoy obrabotki: monogr. – M.: Mashinostroenie, 1977. – 464 p.
9. J. Paulo Davim. Modern machining technology. A practical guide. – Woodhead Publishing, 2011. – 412 p
10. Yurkevich V.V. Sherohovatost poverhnosti detali posle tokarnoj obrabotki // STIN. – 2006. – № 6. – PP. 33–35.
11. Fiziko–matematicheskaya teoriya processov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroeniya. V 10t. T.6. Kachestvo obrabotki detalej mashin: monografiya/ pod red. F.V. Novikova. – Odessa: Izd-vo Odes. nac. politekhn. un-ta, 2003. – 715 p.
12. Filonov I.P., Medvedev A.I. Veroyatnostno–statisticheskie metody ocenki kachestva v mashino–stroenii. – Minsk.: «Tesej», 2000. – 224 p.
13. Kume H. Statisticheskie metody povysheniyak achestva: per. s angl. – M.: Finansy i statistika, 1990. – 304 p.
14. Viorel–Mihai Nani. Statistical control of the technological process stability to manufacturing cylindrical parts into high series// MMS Engineering Journal, Magnolithe, Iss. 7, 2017. DOI 10.13140/RG.2.2.33528.65284.
15. Remco I. Leine, Nathan van de Wouw. Stability and convergence of mechanical systems with unilateral constraints. – Springer–Verlag Berlin Heidelberg, 2008. – 246 p.
16. Kobzar A.I. Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov. – M.: Fizmatlit, 2006. – 816 p.
17. R 50–601–20–91. Rekomendacii po ocenke tochnosti i stabilnosti tekhnologicheskikh processov (oborudovaniya). – M.: VNIIS Gosstandarta Rossii, 1991. – 30 p.
18. R 50.1.018–98 Obespechenie stabilnosti tekhnologicheskikh processov v sistemah kachestva po mode–lyam standartov ISO serii 9000. Kontrolnye karty Shuharta. – M.: IPK Izdatelstvo standartov, 1998. – 16 p.
19. Ishikawa K., Loftus J.H. Introduction to Quality Control: 3rd ed. – Tokyo: 3A Corp., 1990. – 435 p.
20. Bogutsky V.B., Shron L.B., Yagyaev E.E. Ekspluatatsiya, obsluzhivanie i diagnostika tekhnologicheskikh mashin: uchebnoe posobie. – M.: INFRA–M, 2019. – 356 p.

Bogutsky Vladimir Borisovich
Federal State Educational Institution of Higher
Education «Sevastopol State University», Sevastopol
Ph.D., assistant professor of dept. Technology of
mechanical engineering
229053, Sevastopol, st. University, 33
Ph. +7(978)–76–72–873
E-mail: bogutskivb@yandex.ru

Shron Leonid Borisovich
Federal State Educational Institution of Higher
Education «Sevastopol State University», Sevastopol
Ph.D., assistant professor of dept. Technology of
mechanical engineering
229053, Sevastopol, st. University, 33
Ph. +7(978)–74–47–546
E-mail: shronlb@mail

УДК 624.012.45.04

А.А. ПАНИН, И.Н. БУРИЛИЧ, Д.Н. ТЮТЮНОВ, Л.И. СТУДЕНИКИНА

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ЧЕРВЯЧНЫХ МЕЛКОМОДУЛЬНЫХ ФРЕЗ С ВИНТОВЫМ ЗАТЫЛОВАНИЕМ

Аннотация. В предлагаемой публикации проводится предварительный обзор экономической необходимости комплексного производства червячных фрез. Кратко описана его география. Рассмотрена проблема оптимального проектирования конструкции червячных мелко модульных фрез. Проведено исследование зависимости углов наклона задних винтовых поверхностей на расчетном цилиндре. Получены оптимальные результаты исследуемых величин. Уточнена функциональная связь между найденными углами и ходами винтовых поверхностей.

Ключевые слова: червячные фрезы, углы наклона и ходы задних винтовых поверхностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Протасьев В.Б., Степанов Ю.С., Ушаков М.В. Прогрессивные конструкции затылованных инструментов / В.Б.Протасьев, Ю.С.Степанов, М.В.Ушаков; Под ред. Ю.С.Степанова. – М.: Машиностроение, 2003. – 223 с.: ил.
2. Лашнев С.И., Борисов А.Н., Емельянов С.Г. Геометрическая теория формирования поверхностей режущими инструментами / С.И.Лашнев, А.Н.Борисов, С.Г.Емельянов. – Курск: КГТУ, 1997. – 390 с.: ил.
3. Металлорежущие инструменты: учебник для вузов. / Г.Н. Сахаров, О.Б., Арбузов, Ю.Л. Боровой и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с: ил.
4. Рыжкин А.А. Определение профиля червячной фрезы для изготовления зубчатых колес эллиптического профиля / А.А. Рыжкин [и др.] // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. – 2010. – Т. 10. – № 5. – С. 731–734.
5. Тютюнов Д.Н. Функции нескольких переменных [Электронный ресурс]: учебное пособие / Д. Н. Тютюнов, Л. И. Студеникина. Е.В.Скрипкина. – Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск: ЮЗГУ, 2016. – 176.

Панин Александр Андреевич
ФГБОУ «Юго-Западный
государственный университет»
г.Курск
аспирант кафедры машиностроительных технологий
и оборудования
305040, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94
E-mail: elpan1na@yandex.ru

Бурилич Ирина Николаевна
ФГБОУ «Курский государственный университет»
г.Курск
Кандидат технических наук, доцент кафедры
алгебры, геометрии и ТОМ
305000, г.Курск, ул.Радищева, 33
E-mail: burili4@yandex.ru

Тютюнов Дмитрий Николаевич
ФГБОУ «Юго-Западный
государственный университет»
г.Курск
Кандидат технических наук, доцент кафедры высшей
математики
305040, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94
E-mail: tjutjunov@mail.ru

Студеникина Лариса Ивановна
ФГБОУ «Юго-Западный
государственный университет»
г.Курск
Кандидат педагогических наук,
доцент кафедры высшей
математики
305040, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94
E-mail: SLI-kursk@yandex.ru

A.A. PANIN, I.N. BURILICH, D.N. TYUTYUNOV, L.I. STUDENIKINA

SOME DESIGN FEATURES CONSTRUCTIONS OF WAFER MECHANICAL MILLS WITH SCREW GASKET

Abstract. The proposed publication provides a preliminary review of the economic necessity of the integrated production of worm milling cutters. His geography is briefly described. The problem of optimal design of the worm

modular milling cutter is considered. A study was made of the dependence of the angles of inclination of the rear screw surfaces on the computational cylinder. The optimal results of the studied quantities were obtained. The functional relationship between the angles found and the strokes of the screw surfaces was clarified.

Keywords: worm milling cutters, tilt angles and strokes of the rear helical surfaces.

BIBLIOGRAPHY

1. Protasyev V.B., Stepanov Yu.S., Ushakov M.V. Progressive constructions of plugged tools / V.B. Protasiev, Yu.S. Stepanov, M.V. Ushakov; Ed. Yu.S. Stepanov. – M.: Mashinostroyeniye, 2003. – 223 pp., Ill.
2. Lashnev S.I., Borisov A.N., Emelyanov S.G. Geometric theory of surface formation using cutting tools / S.I. Lashnev, A.N. Borisov, S.G. Emelyanov. – Kursk: KSTU, 1997. – 390 pp., Ill.
3. Metal cutting tools: textbook for universities. / G.N. Sakharov, O.B. Ar-Buz, Yu.L. Borovoy and others – M.: Mashinostroyeniye, 1989. – 328 with: Ill.
4. Ryzhkin A.A. Determination of the profile of the worm milling cutter for the manufacture of toothed scaffolds of the elliptical profile / A.A. Ryzhkin [and others] // Vestn. Donsk. state tech. un–that. – 2010. – T. 10. – № 5. – С. 731–734.
5. Tyutyunov D.N. Functions of several variables [Electronic resource]: a study guide / D. N. Tyutyunov, L. I. Studenikina. E.V. Skripkina. – South–Zap. state un–t – Kursk: SWSU, 2016. – 176.

Panin Aleksandr Andreevich

Southwest State University, Kursk
Post-graduate student of the Department of
mechanical engineering technologies and
equipment
305040, Kursk, 50 years of October
St., 94
E-mail: elpan1na@yandex.ru

Burilich Irina Nikolaevna

Kursk State University, Kursk
Candidate of technical Sciences, associate Professor of the
Department of algebra, geometry and theory of teaching
mathematics
305000, Kursk, Radischeva St., 33
E-mail: burili4@yandex.ru

Tutunov Dmitry Nikolaevich

Southwest State University, Kursk
Candidate of technical Sciences, associate
Professor of mathematics
305040, Kursk, 50 years of October St., 94
E-mail: sli-kursk@yandex.ru

Studenikina Larisa Ivanovna

Southwest State University, Kursk
Candidate of pedagogics, associate Professor of mathematics
305040, Kursk, 50 years of October St., 94
E-mail: sli-kursk@yandex.ru

УДК 539.3:678.067

М.А. КОМКОВ, Ю.В. БАДАНИНА, Ю.З. БОЛОТИН, Т.В. ВАСИЛЬЕВА

КРИОГЕННЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ИЗ НАМОТАННОЙ ПОЛИИМИДНО–ФТОРОПЛАСТОВОЙ ПЛЕНКИ

Аннотация. Рассмотрены вопросы проектирования и изготовления намоткой из жестких полимерных пленок многослойных оболочек прямо– и криволинейных трубопроводов. Предложен способ соединения хвостовика фланца с пленочной оболочкой и представлены результаты испытаний трубопроводов из полиимидно–фторопластовой пленки ПМФ–352.

Ключевые слова: криогенное топливо, полиимидно–фторопластовая пленка, пленочные оболочки, криволинейные трубопроводы, метод намотки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Море» планов «Ангарты» /Ю. Журавин. – М.: Новости космонавтики, 1999. – №3 (194), 1999. – С. 48–49.
2. Первый разгонный блок 12КРБ отправлен в Индию. /В. Мохов. – М.: Новости космонавтики, 1998. – №21/22. – С. 42–43.
3. Нехороших Г.Е. Опыт применения полимерных пленочных материалов в конструкции криогенного разгонного блока «12 КРБ» // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: «Инженерные исследования». 2017. Т. 18. № 3. С. 318–324. DOI 10.22363/2312–8143–2017–18–3–318–324.
4. Патрунов Ф.Г. Ниже 120 градусов по Кельвину. – М.: Знание, 1989. – 176с.
5. Самолет завтрашнего дня – Ту–155 на водородном топливе: АНТК им. А.Н. Туполева /Г.Федоров, Г. Максимович. – М.: Крылья Родины, 1988–1992.
6. Ленский А.Б., Кряковкин В.П. Криогенные трубопроводы: от разработки до ввода в эксплуатацию. //Технические газы. 2014. – № 4. С. 67–71.
7. Полиимиды – класс термостойких полимеров /Бессонов М.П., Котон М. М., Кудрявцев В.В., Лайус Л. А. – Л.: Наука, 1983,– 328с.

8. Нехороших Г.Е., Кузнецов В.М. Экспериментальные исследования влияния условий хранения на деформационно-прочностные характеристики полиимидно-фторопластовых пластиков // Энциклопедия инженера-химика. 2014. – № 7. – С. 20 – 23.

9. Буланов И.М., Комков М.А. Применение жестких полимерных пленок в криогенных топливных системах аэрокосмической техники // Вестник МГТУ. Машиностроение. – 1992. – №1. – С. 14–24.

10. Комков М.А. Основы проектирования клеевых соединений // Клеи, герметики, технологии. – 2004. – №3. – С. 19–23.

11. Сабельников В.В., Комков М.А., Саморядов А.В. Технология склеивания элементов криогенного трубопровода. – М.: Клеи. Герметики. Технологии. 2005. – № 1. – С. 16–20.

12. Komkov M.A. Rheological Properties of Polymer Binders Used in the Windings of Products of Composite Materials. // Polymer Science Series D. 2013, Vol. 6, Issue 1. pp. 26–30. DOI: 10.1134/S1995421212040089.

13. Комков М.А. Проектирование конструкции и технология изготовления намоткой из композиционных материалов оболочек торовых сосудов давления // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2004. – №3. – С. 51–65.

14. Комков М. А., Болотин Ю. З., Васильева Т. В. Определение конструктивно-технологических параметров трубопроводов, изготовленных намоткой из полиимидной пленки. Эл № ФС 77 – 48211. №03, март 2013, DOI: 10.7463/0313.0541990.

15. Комков М.А., Сабельников В.В., Баслык К.П. Конструктивно-технологический анализ трубопроводов, изготовленных из полиимидной пленки методом намотки. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». (Специальный выпуск № 3) – 2012. – С. 78–86.

Комков Михаил Андреевич

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Доктор технических наук, профессор

105037, г. Москва, ул.2-я Прядильная, д.6, кв.55

тел.: +7-905-737-69-64

E-mail: m_komkov@list.ru

Баданина Юлия Владимировна

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Кандидат технических наук, доцент

143969, МО, г.Реутов, Юбилейный пр-кт, д.34, кв.29

тел.: +7-910-456-33-16

E-mail: julia555-90@yandex.ru

Болотин Юрий Зиновьевич

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Старший преподаватель

140050. МО, Люберецкий р-н, пгт Красково, ул.

Лорха, д.7, кв.62

Тел.: +7-916-530-76-93

E-mail: ub52@mail.ru

Васильева Татьяна Владимировна

МГТУ им. Н.Э. Баумана

ассистент

142280, МО, г. Протвино, ул. Гагарина, д.2, кв.7

Тел.: +7-910-405-63-94

E-mail: vtv64@mail.ru

M.A. KOMKOV, Yu.V. BADANINA, Yu.Z. BOLOTIN, T.V. VASILYEVA

CRYOGENIC PIPELINES OF AIRCRAFT FROM WRAPPED POLYIMIDE FETROPLASTIC FILM

Abstract. The issues of designing and manufacturing of multi-layered shells of straight and curvilinear pipelines from rigid polymer films of multilayer shells are considered. A method of connecting the shank of a flange with a film shell is proposed, and the results of testing pipelines made of PMF-352 polyimide-fluoroplastic film are presented.

Keywords: cryogenic fuel, polyimide film, film shells, curvilinear pipelines, winding method.

BIBLIOGRAPHY

1. «More» planov «Angary» /YU. Zhuravin. – М.: Novosti kosmonavtiki, 1999. – №3 (194), 1999. – С. 48–49.
2. Pervyy razgonnyy blok 12KRB otpravlenn v Indiyu. /V. Mokhov. – М.: Novosti kosmonavtiki, 1998. – №21/22. – С. 42–43.
3. Nekhoroshikh G.Ye. Opyt primeneniya polimernykh plenochnykh materialov v konstruksii kriogenogo razgonnogo bloka «12 KRB» // Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: «Inzhenernyye issledovaniya». 2017. T. 18. № 3. S. 318–324. DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-3-318-324.
4. Patrunov F.G. Nizhe 120 gradusov po Kelvinu. – М.: Znaniye, 1989. – 176s.
5. Samolet zavrashnogo dnya – Tu-155 na vodorodnom toplive: ANTK im. A.N. Tupoleva /G.Fedorov, G. Maksimovich. – М.: Krylya Rodiny, 1988–1992.
6. Lenskiy A.B., Kryakovkin V.P. Kriogennyye truboprovody: ot razrabotki do vvoda v ekspluatatsiyu. //Tekhnicheskoye gazety. 2014. – № 4. S. 67–71.
7. Poliimidy – klass termostoykikh polimerov /Bessonov M.II., Koton M. M., Kudryavtsev V.V., Layus L. A. – L.: Nauka, 1983,– 328s.

8. Nekhoroshikh G.Ye., Kuznetsov V.M. Eksperimentalnyye issledovaniya vliyaniya usloviy khraneniya na deformatsionno–prochnostnyye kharakteristiki poliiimidno–ftoroplastovykh plastikov // Entsiklopediya inzhenera–khimika. 2014.– № 7.– S. 20 – 23.
9. Bulanov I.M., Komkov M.A. Primeneniye zhestkikh polimernykh plenok v kriogennykh toplivnykh sistemakh aerokosmicheskoy tekhniki // Vestnik MGTU. Mashinostroyeniye. – 1992. – №1. – S. 14–24.
10. Komkov M.A. Osnovy proyektirovaniya kleyevykh soyedineniy // Klei, germetiki, tekhnologii. – 2004. – №3. – S. 19–23.
11. Sabelnikov V.V., Komkov M.A., Samoryadov A.V. Tekhnologiya skleivaniya elementov kriogennoho truboprovoda. – M.: Klei. Germetiki. Tekhnologii. 2005. – № 1. – S. 16–20.
12. Komkov M.A. Rheological Properties of Polymer Binders Used in the Windings of Products of Composite Materials. // Polymer Science Series D. 2013, Vol. 6, Issue 1. pp. 26–30. DOI: 10.1134/S1995421212040089.
13. Komkov M.A. Proyektirovaniye konstruksii i tekhnologiya izgotovleniya namotkoy iz kompozitsionnykh materialov obolochek torovykh sudov davleniya // Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. «Mashinostroyeniye». – 2004. – №3. – S. 51–65.
14. Komkov M. A., Bolotin YU. Z., Vasilyeva T. V. Opreddeniye konstruktivno–tekhnologicheskikh parametrov truboprovodov, izgotovlennykh namotkoy iz poliimidnoy plenki. El № FS 77 – 48211. №03, mart 2013, DOI: 10.7463/0313.0541990.
15. Komkov M.A., Sabelnikov V.V., Baslyk K.P. Konstruktivno–tekhnologicheskyy analiz truboprovodov, izgotovlennykh iz poliimidnoy plenki metodom namotki. // Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. «Mashinostroyeniye». (Spetsialnyy vypusk № 3) – 2012. – S. 78–86.

Komkov Mikhail Andreevich

MGTU them. N.E. Bauman
Doctor of Technical Sciences, Professor
105037, Moscow, ul. 2–I Prjadilnaya, 6, ap. 55
tel.: + 7–905–737–69–64
E-mail: m_komkov@list.ru

Badanina Julia Vladimirovna

MGTU them. N.E. Bauman
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor
143969, MO, Reutov, Yubileyny Prospekt, 34, ap. 29
tel.: + 7–910–456–33–16
E-mail: julia555–90@yandex.ru

Bolotin Yuri Zinovievich

MGTU them. N.E. Bauman
Senior Lecturer
140050. MO, Lyubertsy district, village Kraskovo, st.
Lorkha, 7, ap. 62
Tel: + 7–916–530–76–93
E-mail: ub52@mail.ru

Vasilyeva Tatyana Vladimirovna

MGTU them. N.E. Bauman
assistant
142280, MO, Protvino, st. Gagarin, 2, ap. 7
Tel: + 7–910–405–63–94
E-mail: vtv64@mail.ru

УДК 621.9

С.В. КУДРЯВЦЕВ, М.Ф. СЕЛЕМЕНЕВ, А.С. ТАРАПАНОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РАЗВЕРТЫВАНИЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ НАНОПОКРЫТИЙ НА РЕЖУЩУЮ ЧАСТЬ ИНСТРУМЕНТА

Аннотация. В статье показано, что влияние режимов резания на качество обработанной поверхности проявляется через термический фактор, определяющий условия стружкообразования. Для относительного контроля изменений температур при разворачивании предлагается специальный автоматизированный комплекс позволяющий в режиме онлайн строить зависимости «температура–внешние воздействующие факторы». Установлено, что работа комплекса позволяет получать изменение температуры в зоне резания при сравнительно низких скоростях резания характерных для процесса разворачивания. Также применение нанопокровтий рабочих поверхностей инструмента значительно снижает температуру обработки. Достоверность результата проверялась с помощью автоматизированного комплекса, позволяющего оценивать относительное изменение температуры в зоне деформации.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верещака А.С. Резание материалов: Учебник / А.С. Верещака, В.С. Кушнер. – М.: Высш. шк., 2009 – 535 с.: ил.

2. Безъязычный В.Ф. Основы технологии машиностроения: Учебник / В.Ф. Безъязычный. – М.: Машиностроение, 2013. – 568 с.: ил.
3. Патент РФ № 2017101479 17.01.2017. Устройство стендового автоматизированного лабораторного комплекса для изучения политропного процесса и комбинированного теплообмена // Патент России №2656196. 2018. / Бодров В.К., Ванин В.С., Кудрявцев С.В. [и др].
4. Патент РФ № 2017111455 14.06.2016. Устройство стендового автоматизированного лабораторного комплекса для изучения процессов теплообмена // Патент России №2668415. 2018. / Бодров В.К., Ванин В.С., Кудрявцев С.В. [и др.].
5. Новиков А.Д. Анализ формообразования внутренних профилей с помощью компьютерного моделирования / Новиков А.Д. Селеменев М.Ф., Фроленкова Л.Ю., Тарапанов А.С. // Материалы международного научного симпозиума технологов–машиностроителей (Ростов–на–Дону, 26–28 сент. 2018). – 2018.– С. 123 – 126
6. Кудрявцев С.В. Автоматизированный лабораторный комплекс для изучения политропного процесса и комбинированного теплообмена // Сборник 8–й международной научно–практической конференции (Курск, 28 июня 2019). – 2019. – С. 302–305
7. Кудрявцев С.В. Автоматизированный лабораторный комплекс для изучения процессов теплообмена // Сборник 8–й международной научно–практической конференции (Курск, 28 июня 2019). – 2019. – С. 306–309
8. Казьмин Д.А. Анализ изменений температур для низкоскоростных процессов механической обработки / Казьмин Д.А. Кудрявцев С.В. Кузнецов Ю.А. Новиков А.Д. // Сборник трудов научного симпозиума технологов–машиностроителей (Ростов–на–Дону, Сентябрь 2019). – 2019. – С. 423–428
9. Казьмин Д.А. Установка для определения относительных изменений температуры при развертывании / Казьмин Д.А. Кудрявцев С.В. Тарапанов А.С. // Сборник трудов научного симпозиума технологов–машиностроителей (Ростов–на–Дону, Сентябрь 2019). – 2019. – С.428–432
10. Орехов Ю.Ю. Эффективность нанокрытий инструмента при развертывании / Орехов Ю.Ю. Прохоров Д.Г. // Сборник научных трудов 6–й Международной молодежной научной конференции (Курск, 18–19 Сентября 2019). – 2019. – С. 247–249.

Кудрявцев Сергей Васильевич

Орловский государственный университет имени
И.С. Тургенева, аспирант
Тел.: +79208181016
E-mail: sla1der123@yandex.ru

Тарапанов Александр Сергеевич

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, доктор технических
наук, профессор кафедры Машиностроение
Тел.: +79202877774
E-mail: awj@list.ru

Селеменев Михаил Федорович

Орловский государственный университет имени И.С.
Тургенева, кандидат технических наук. Доцент
кафедры машиностроения
Тел.: +79102670717
E-mail: selemeney2007@yandex.ru

S.V. KUDRYAVTSEV, A.S. TARAPANOV, M.F. SELEMENEV

DETERMINATION OF RELATIVE CHANGES IN THE TEMPERATURE OF THE DEPLOYMENT PROCESS FOR APPLICATION OF NANO– COATINGS TO THE CUTTING PART OF THE TOOL

Abstract. *The article shows that the influence of cutting conditions on the quality of the processed surface is manifested through the thermal factor that determines the conditions of chip formation. For relative control of temperature changes during deployment, a special automated complex is proposed that allows you to build online dependencies "temperature–external factors". It was established that the operation of the complex allows to obtain a temperature change in the cutting zone at relatively low cutting speeds characteristic of the deployment process. Also, the use of Nano coatings of the working surfaces of the tool significantly reduces the processing temperature. The reliability of the result was checked with the help of an automated complex, which allows to evaluate the relative change in temperature in the deformation zone.*

Keywords: *cutting, deployment, low–speed machining processes, cutting temperature, automated complex, heat exchanger, high–temperature coolant.*

BIBLIOGRAPHY

1. Vereshchaka A.S. Cutting materials: Textbook / A.S. Vereshchaka, V.S. Kushner. – M.: Higher. school., 2009 – 535 p.: ill.
2. Bezyazichniy V.F. Fundamentals of engineering technology: Textbook / V.F. Bezyazichniy. – M.: Mechanical Engineering, 2013.– 568 p.: Ill.
3. RF patent No. 2017101479 01/17/2017. The device bench automated laboratory complex for studying the polytropic process and combined heat transfer // Patent of Russia №2656196. 2018./ Bodrov V.K., Vanin V.S., Kudryavtsev S.V. [and etc].
4. RF patent No. 2017111455 06/14/2016. The device bench automated laboratory complex for studying the processes of heat transfer // Patent of Russia №2668415. 2018./ Bodrov V.K., Vanin V.S., Kudryavtsev S.V. [and etc.].
5. Novikov A.D. Analysis of the formation of internal profiles using computer simulation / Novikov A.D. Selemenev M.F., Frolenkova L.Y., Tarapanov A.S. // Materials of the international scientific symposium of machine–building technologists (Rostov–on–Don, September 26–28th, 2018). – 2018.– P. 123 – 126.
6. Kudryavtsev S.V. Automated laboratory complex for studying the polytropic process and combined heat transfer // Collection of the 8th international scientific and practical conference (Kursk, June 28th, 2019). – 2019.– P. 302–305
7. Kudryavtsev S.V. Automated laboratory complex for studying heat transfer processes // Collection of the 8th international scientific and practical conference (Kursk, June 28th, 2019). – 2019.– P. 306–309
8. Kazmin D. A. the Analysis of temperature changes for low–speed machining processes / Kazmin D. A. Kudryavtsev S. V. Kuznetsov Y. A. Novikov A.D. / / Proceedings of the scientific Symposium of technologists–mechanical–engineering (Rostov–on–don, September 2019). – 2019. – P. 423–428
9. Kazmin D. A. Installation for determining the relative temperature changes during deployment / Kazmin D. A. Kudryavtsev S. V. Tarapanov A. S. / / Proceedings of the scientific Symposium of technologists–mechanical engineering (Rostov–on–don, September 2019). – 2019. – P. 428–432.
10. Orekhov Y.Y. Efficiency of tool nanocovers during deployment / Orekhov Y.Y. Prokhorov D.G. // Collection of scientific papers of the 6th International Youth Scientific Conference (Kursk, September 18–19, 2019). – 2019.— P. 247–249.

Kudryavtsev Sergey Vasilevich

Oryol State University named after I.S. Turgenev,
postgraduate student
Ph.: +79208181016
E–mail: sla1der123@yandex.ru

Tarapanov Alexander Sergeevich

Oryol State University named after I.S. Turgenev, Ph
Doctor, Professor of the Department of Mechanical
Engineering
Ph.: + 79202877774
E–mail: awj@list.ru

Selemenev Mikhail Fedorovich

Oryol State University named after I.S. Tergenev,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Department of Mechanical Engineering
E–mail: selemenev2007@yandex.ru

УДК 621.792

А.В. ИГНАТОВ, Н.А. РОДИОНОВА, С.В. ТАГИЛЬЦЕВ

ОРИГИНАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ РАСТОЧНЫХ ОПРАВОК С ЭФФЕКТАМИ ВИБРОГАШЕНИЯ

Аннотация. Возникающие во время процесса резания вибрации приводят к ухудшению точности и шероховатости обработанной поверхности. Авторами статьи предложено конструктивное решение проблемы снижения вибрации в виде расточной оправки, собранной с использованием адгезивных материалов. Проанализирован действующий классификатор, был предложен современный классификатор расточных оправок с эффектами виброгашения, который решает выше поставленные проблемы.

Ключевые слова: расточная оправка, решение проблем вибрации, эффект виброгашения, сборная расточная оправка, собранная с использованием клеевых композиций, классификатор расточных операций, классификатор расточных оправок с эффектами виброгашения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Туктанов А. Г. Технология производства стрелково – пушечного и артиллерийского оружия, М., «Машиностроение», 2007, 374 с.

2. Инструменты для обработки отверстий, ТехИнфо, 2010, (<http://texinfo.hmarka.net>)
3. Игнатов А.В. Современные достижения в области клеев и герметиков – журнал «Клеи. Герметики. Технологии.», №11, 2015г.стр. 35–39
4. Игнатов А.В. Применение клеев при сборке изделий в машиностроении: Учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 43 с.
5. Игнатов А.В. Проектирование технологической оснастки для нанесения и дозирования клеевых составов в сборочном производстве – журнал «Главный механик», №9, 2014г.стр. 22–23

Игнатов Алексей Владимирович
ФГБОУВО "МГТУ им. Н.Э. Баумана"
К. т. н., доцент кафедры
"Технология Машиностроения"
105005, Москва, 2-я Бауманская
ул., д. 5, стр. 1
Тел. +7905 567 7788
E-mail: avi@bmstu.ru

Родионова Наталья Анатольевна
ФГБУН «Институт
машиноведения им. А.А.
Благонравова РАН»
К.т.н., научный сотрудник
101000, Москва,
Малый Харитоньевский переулок,
д.4
Тел. +7 (495) 628 8730
E-mail: N.rodionova@mail.ru

Тагильцев Святослав Васильевич
ФГБОУВО "МГТУ им. Н.Э. Баумана"
аспирант кафедры "Технология
Машиностроения"
105005, Москва, 2-я Бауманская
ул., д. 5, стр. 1
Тел. +7 916 856 2161
E-mail: sveti63@yandex.ru

A.V. IGNATOV, N.A. RODIONOVA, S.V. TAGILTSEV

ORIGINAL CLASSIFICATION OF BORING ARBORS WITH ANTIVIBRATION EFFECTS

Abstract. *Occur during the process of cutting vibrations lead to poor precision and surface roughness of the machined surface. The authors of the article proposed a constructive solution to the problem of reducing the vibration in the boring bar, assembled using adhesive materials. Analyzed the current classifier, the proposed classifier is a modern boring bars with vibration absorption effects, which solves the above stated problems.*

Keywords: *boring bar, the solution of vibration problems, the vibration absorption effect, boring bar, assembled using adhesive compositions, the classifier boring operations, boring bars classifier with the effects of vibration absorption.*

BIBLIOGRAPHY

1. Tuktanov. A. Technology for the production of small arms and cannons and artillery weapons, M., "Mechanical Engineering", 2007, 374 p.
2. Tools for processing holes, TechInfo, 2010, (<http://texinfo.hmarka.net>)
3. Ignatov A.V. Modern advances in the field of adhesives and sealants – Glues. Sealants. Technologies. ", No. 11, 2015 35–39
4. Ignatov A.V. The use of adhesives in the assembly of products in mechanical engineering: Textbook. M.: Publishing House of MSTU. N.E. Bauman, 2000.43 s.
5. Ignatov A.V. Designing tooling for applying and dispensing adhesive compositions in assembly production – "Chief Mechanic" magazine, No. 9, 2014 22–23.

Ignatov Alexey Vladimirovich
FGBOUVO "MSTU named after NE Bauman"
K. t. N., Associate professor of the
department "Technology of
Mechanical Engineering"
105005, Moscow, 2nd Baumanskaya
St., 5, building 1
Tel +7 905 567 7788
E-mail: avi@bmstu.ru

Rodionova Natalya Anatolevna
Federal State Budgetary Institution
"Institute of Engineering Science
named after A.A. Blagonravova RAS
Ph.D., Researcher
101000, Moscow,
Maly Kharitonyevsky Lane, 4
Tel +7 (495) 628 8730
E-mail: N.rodionova@mail.ru

Tagiltsev Svyatoslav Vasilievich
FGBOUVO "MSTU named after NE Bauman"
graduate student of the department
"Technology of Mechanical
Engineering"
105005, Moscow, 2nd Baumanskaya
St., 5, building 1
Tel +7 916 856 2161
E-mail: sveti63@yandex.ru

УДК 621.9

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

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ ОБРАБОТКИ

Аннотация. В статье показана актуальность и научная значимость в применении комбинированного способа обработки, сочетающего процесс резания и поверхностное пластическое деформирование, обеспечивающего повышение эффективности обработки базовых плоских торцовых поверхностей электротехнических деталей из меди, изучение закономерностей формирования микрорельефа при механической обработке и пластическом деформировании медной поверхности. Установлено, что применение комбинированного инструмента позволяет совмещать несколько переходов, что обеспечивает увеличение производительности обработки за счет снижения машинного и вспомогательного времени на обработку. Замена операции шлифования действующего на заводе технологического процесса алмазным выглаживанием позволяет существенно повысить качество обработанной поверхности.

Ключевые слова: механическая обработка, комбинированный способ обработки, фрезерование, алмазное выглаживание.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонюк, В. Е. Конструктору станочных приспособлений: справ. пособие / В. Е. Антонюк – Минск: Беларусь, 1991. – 400 с.
2. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник / Л. Г. Одинцов. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
3. Одинцов Л. Г. Финишная обработка деталей алмазным выглаживанием и вибровыглаживанием / Л. Г. Одинцов. – М.: Машиностроение, 1981. – 160 с.
4. Папшев Д. Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием / Д. Д. Папшев. – М.: Машиностроение, 1978. – 152 с.
5. Станочные приспособления: справочник. В 2 т. Т. 1 / под ред. Б. Н. Вардашкина, А. А. Шатилова. – М.: Машиностроение, 1984. – 592 с.
6. Сотников, В. И. Фреза для комбинированной обработки плоских торцовых поверхностей деталей из мягких материалов / В. И. Сотников, А. Н. Ткаченко // Известия ОрёлГТУ. Сер. «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». – 2008. – № 2–4/270 (545). – С. 87–91.
7. Фреза комбинированная для обработки плоских торцовых поверхностей заготовок деталей из мягких материалов / В. В. Мудров, В. И. Сотников, А. Н. Ткаченко: пат. 2338631 С1 РФ. № 2007120954/02; заявл. 04.06.2007; опубл. 20.11.2008. Бюл. № 32. – 6 с.

Селеменова Елена Михайловна

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

Черепенько Аркадий Анатольевич

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

Ткаченко Артем Николаевич

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

Фроленкова Лариса Юрьевна

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

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

QUALITY IMPROVEMENT OF ELECTROTECHNICAL PARTS BY COMBINED METHOD OF PROCESSING

Abstract. The article shows the relevance and scientific significance in the application of a combined processing method combining the cutting process and surface plastic deformation, which provides an increase in the processing efficiency of base flat end surfaces of electrical parts made of copper, the study of the patterns of microrelief formation during machining and plastic deformation of a copper surface. It has been established that the use of a combined tool allows combining several transitions, which ensures an increase in processing productivity by reducing machine and

auxiliary processing time. Replacing the grinding operation of the existing technological process at the plant with diamond smoothing can significantly improve the quality of the processed surface.

Keywords: mechanical processing, combined method of processing, milling, diamond smoothing.

BIBLIOGRAPHY

1. Antonyuk, V. E. Designer of machine tools: ref. allowance / V. E. Antonyuk – Minsk: Belarus, 1991.— 400 p.
2. Odintsov, L. G. Hardening and finishing of parts by surface plastic deformation: reference book / L. G. Odintsov. – M.: Mechanical Engineering, 1987. – 328 p.
3. Odintsov, L. G. Finishing of parts with diamond smoothing and vibration smoothing / L. G. Odintsov. – M.: Mechanical Engineering, 1981. – 160 p.
4. Papshev, D. D. Finishing and hardening treatment by surface plastic deformation / D. D. Papshev. – M.: Mechanical Engineering, 1978. – 152 p.
5. Machine tools: reference book. In 2 t. T. 1 / ed. B.N. Vardashkina, A.A. Shatilova. – M.: Mechanical Engineering, 1984. – 592 p.
6. Sotnikov, V. I. Milling cutter for combined processing of flat end surfaces of parts made of soft materials / V. I. Sotnikov, A. N. Tkachenko // Izvestiya Orel State Technical University. Ser. "Fundamental and applied problems of engineering and technology." – 2008. – No. 2–4 / 270 (545). – S. 87–91.
7. Combined milling cutter for processing flat end surfaces of workpieces of parts made of soft materials / V. V. Mudrov, V. I. Sotnikov, A. N. Tkachenko: Pat. 2338631 C1 of the Russian Federation. No. 2007120954/02; declared 06/04/2007; publ. 11/20/2008. Bull. No. 32. – 6 p.

Selemeneva Elena Mikhailovna

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

Cherepenko Arkady Anatolyevich

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

Tkachenko Artem Nikolaevich

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

Frolenkova Larisa Yuryevna

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

УДК: 621.9

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

ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ АБРАЗИВНОГО ЗЕРНА В ПОЛИМЕРНОЙ ОБОЛОЧКЕ В ПРОЦЕССЕ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ РЕЗКИ

Аннотация. В работе представлен энергетический баланс жизненного цикла абразивного зерна. В результате исследования нелокального взаимодействия материалов абразивных частиц и полимера, на основании информации об их механических свойствах, получены выражения, позволяющие вычислить параметры потенциалов взаимодействия (парного и тройного) бесконечно малых частиц сплошной упругой среды. Этот результат служит основанием для использования предложенной модели адгезионного взаимодействия для расчета энергии адгезии защитной оболочки абразивной частицы и ее сердцевины на основании информации об их механических свойствах, что позволяет установить необходимые требования к механическим свойствам абразива и полимера для сохранения целостности покрытия в процессе прохождения абразивного зерна через фокусирующую трубку.

Ключевые слова: гидроабразивное резание, абразивное зерно, жизненный цикл, покрытие, адгезия

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барсуков, Г.В. Определение производительности гидроабразивного резания с учетом характеристик абразивного зерна / Г.В. Барсуков, А.В. Михеев // Справочник. Инженерный журнал. – 2008. – № 1. – С. 9 – 14.
2. Полянский, С.Н. Технология и оборудование гидроабразивной резки / С.Н. Полянский, А.С. Нестеров // Вестник машиностроения. – 2004. – № 5. – С. 43 – 46.

3. Перемышев, В.В. О влиянии физико-механических свойств абразивного материала на эксплуатационные показатели / В.В. Перемышев, В.М. Шумячер // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. – 2001. – С. 66–67.
4. Барсуков, Г.В. Исследование абразивной способности искусственных и природных абразивов, обеспечивающих производительность гидроабразивного резания / Г.В. Барсуков, О.Г. Кожус, А.Ю. Винокуров // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – № 2. – С. 34–41.
5. Barsukov G., Zhuravleva T., Kozhus O. Increasing Of Efficiency Of Environmentally Friendly Technology Of AWJ Of A Glass Fiber Plastic // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2017. – T. 50. – №. 1. – С. 012001.
6. Barsukov G., Zhuravleva T., Kozhus O. Quality of Hydroabrasive Waterjet Cutting Machinability // Procedia Engineering. – 2017. – T. 206. – С. 1034–1038.
7. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – М.: Наука, 1974. – 712 с.
8. Бартнев, В.Г. Физика полимеров / В.Г. Бартнев, С.Я. Френкель. – Ленинград: Изд-во Химия, 1990. – 432 с.
9. Бабаевский, П. Г. Адгезионное взаимодействие твердых поверхностей и создание полимерных «сухих» адгезивов. Теоретические аспекты / П. Г. Бабаевский, А. А. Жуков, С. Ю. Шаповал, Е. А. Гринькин // Нано- и микросхемная техника. – 2006. – № 2. – С. 2 – 8.

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

Шоркин Владимир Сергеевич
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»
г. Орел
доктор физико-математических
наук, профессор, профессор
кафедры технической физики и
математики
Тел. +7 (960) 655–00–77
E-mail: VSorkin@yandex.ru

Фроленкова Лариса Юрьевна
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»
г. Орел
доктор технических наук, доцент,
зав. кафедрой машиностроения
Тел. +7 (910) 301–73–20
E-mail: LaraFrolenkova@yandex.ru

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

Кожус Сергей Валерьевич
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»
г. Орел
магистр кафедры машиностроения
302026, г. Орел, ул.
Комсомольская, 95
тел.: + 7 (4862) 413295
e-mail: okozhus@mail.ru

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

THE LIFE CYCLE OF ABRASIVE GRAIN IN A POLYMER SHELL IN THE PROCESS OF WATERJET CUTTING

Abstract. The paper presents the energy balance of the life cycle of abrasive grain. As a result of research of nonlocal interaction of materials of abrasive particles and polymer, on the basis of information on their mechanical properties, the expressions allowing to calculate parameters of potentials of interaction (pair and triple) infinitely small particles of continuous elastic medium are received. This result is the basis for the use of the proposed model of adhesive interaction to calculate the energy of adhesion of the protective sheath of the abrasive particles and core on the basis of information about their mechanical properties that allows to set necessary requirements to mechanical properties of the abrasive and polymer to preserve the integrity of the coating in the process of passing the abrasive grain through the focusing tube.

Keywords: waterjet cutting, abrasive grain, life cycle, coating, adhesion.

BIBLIOGRAPHY

1. Barsukov, G. V. Determination of performance of waterjet cutting taking into account characteristics of abrasive grain / G. V. Barsukov, A.V. Mikheev // Handbook. Engineering journal. – 2008. – No. 1. – Pp. 9–14.
2. Polyansky, S. N. Technology and equipment of waterjet cutting / S. N. Polyansky, A. S. Nesterov // Vestnik mashinostroeniya. – 2004. – No. 5. – Pp. 43–46.
3. Peremyshchev, V. V. on the influence of physical and mechanical properties of abrasive material on performance / V. V. Peremyshchev, V. M. Shumyacher // processes of abrasive processing, abrasive tools and materials. – 2001. Pp. 66–67.

4. Barsukov, G. V. Research of abrasive ability of artificial and natural abrasives providing productivity of hydroabrasive cutting / G. V. Barsukov, O. G. Kozhus, A. Yu. Vinokurov // Fundamental and applied problems of technique and technology. – 2018. – No. 2. Pp. 34–41.
5. Barsukov G., Zhuravleva T., Kozhus O. Increasing Of Efficiency Of Environmentally Friendly Technology Of AWJ Of a Glass Fiber Plastic // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2017. – T. 50. – no. 1. – Pp. 012001.
6. Barsukov G., Zhuravleva T., Kozhus O. Quality of Hydroabrasive Waterjet Cutting Machinability // Procedia Engineering. – 2017. – T. 206. – Pp. 1034–1038.
7. Schlichting, G. boundary layer Theory / G. Schlichting. – Moscow: Nauka, 1974. – 712 PP.
8. Bartenev, V. G. the Physics of polymers / V. G. Bartenev, S. Ya. Frenkel. – Leningrad: publishing house Chemistry, 1990. – 432 PP.
9. Babaevsky, P. G. Adhesive interaction of hard surfaces and the creation of polymer «dry» adhesives. Theoretical aspects / P. G. Babaevsky, A. A. Zhukov, S. Yu. Shapoval, E. A. Grinkin // Nano–and microchip technology. – 2006. – No. 2. – Pp. 2–8.

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

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

Frolenkova Larisa Yuryevna
Orel State University, Orel
Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor, Head.
Department of Mechanical
Engineering
302026, Orel, Komsomolskaya
st, 95
Ph.:+7 (910) 301–73–20
E-mail:
LaraFrolenkova@yandex.ru

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

Kozhus Sergey Valerievich
Orel State University, Orel
Master of the department of
mechanical engineering
302026, Orel, Komsomolskaya
st., 95
Ph.: + 7 (4862) 413295
e-mail: okozhus@mail.ru

МАШИНОВЕДЕНИЕ И МЕХАТРОНИКА

УДК 621.822

А.В. СЫТИН, А.В. КУЗАВКА, П.Е. ЗАЙЦЕВ

СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИНИМАЛЬНОГО ИЗНОСА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЛЕПЕСТКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ В ПЕРИОД ПУСКА И ОСТАНОВА

Аннотация. В статье рассматривается автоматизированный экспериментальный стенд позволяющий облегчить проведение многочисленных серий экспериментов, минимизировать влияние шума источника движения при исследовании поведения ротора на упруго–демпферных опорах в околокритических зонах и при прохождении критических частот. На основании структурно–функциональной схемы представлена конструкция стенда, подробно описан алгоритм работы и особенности конструкции. Представлены результаты расчетов ротора на критические частоты в системе APM WinMachine, необходимые для правильного подбора элементов и финальной настройки стенда. Изложены наиболее актуальные способы по минимизации негативных факторов, оказывающих влияние на износ лепестков газодинамической опоры. Приведена классификация изложенных способов с подробным описанием оказываемого влияния на обеспечение минимального износа. Сделаны выводы о положительных эффектах и негативных составляющих каждого отдельного способа.

Ключевые слова: лепестковый газовый подшипник (ЛГП); износ лепестковых элементов; ресурс роторно–опорной системы; комбинированные опоры; наддув; специальные покрытия рабочей поверхности лепестка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сытин А. В. Решение комплексной задачи расчета характеристик радиальных лепестковых газодинамических подшипников: дис. кандидата техн. наук: 01.02.06 / Сытина Антона Валерьевича. – Орел, 2008. – 201 с.
2. Румянцев М.Ю., Захарова Н.Е., Сигачев С.И. Применение лепестковых газодинамических подшипников в турбогенераторных агрегатах малой мощности. – Известия МГТУ «МАМИ». Транспортные средства и энергетические установки. Научный рецензируемый журнал. – М., МГТУ «МАМИ», № 4(22), 2014, т. 1, 116 с.
3. Базлов Д.О. Динамические характеристики комбинированных опор с упругими элементами переключения роторных машин: дис. кандидата техн. наук: 01.02.06 / Базлова Дениса Олеговича. – Орел, 2013. – 164 с.
4. Гальванические покрытия в машиностроении. Справочник. В 2-х томах Под ред. М. А. Шлугера, Л. Д. Тока. – М.: Машиностроение, Том 1, 1985 – 240 с..
5. Казаков В. А., Шлугер М. А. Износостойкие и антифрикционные гальванические покрытия в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1981. – 212 с.
6. Родичев А. Ю. Технологическое повышение прочности сцепления и износостойкости антифрикционного покрытия биметаллических подшипников скольжения. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. Орел, 2011. – 224 с.
7. Кожухов М.А., Комаров Н.В., Сытин А.В. Адаптивная комбинированная опора высокоскоростного ротора с упругими элементами механизма переключения. – Сборник научных статей II Международной научно-технической конференции (17–18 июня 2016 года), в 2-х томах, Том 1, / редкол.: Гречухин А.Н (отв. редактор); Юго-Западный гос. ун-т, Курск, 2016. 235 с.
8. Патент РФ № 2558161, 2015. Комбинированная опора / МПК: F16C17/12; F16C27/02; F16C 32/06 / Савин Л.А., Сытин А.В., Галичев А.С. и др. Оpubл. 27.07.2015.
9. Патент США № 6921207. Foil bearing / МПК: F16C32/04 / Minoru Matsunaga. Оpubл. 26.06.2005.
10. Патент США № 6353273. Hybrid foil-magnetic bearing / МПК: F16C 32/06 / Hooshang Heshmat, H. Ming Chen, James F. Walton II. Оpubл. 05.03.2002.
11. Патент США № 5885004. Hydrostatically supported foil bearing / МПК: F16C 17/03 / Joseph K. Scharrer, Robert F. Beatty. Оpubл. 23.03.1999.
12. Поляков Р.Н. Повышение динамических качеств и ресурса опорных узлов роторов совмещением подшипников качения и скольжения: дис. кандидата техн. наук: 01.02.06 / Поляков Роман Николаевич. – Орел, 2005. – 158 с.

Сытин Антон Валерьевич

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

Зайцев Павел Евгеньевич

АО «Электрум – АВ», г. Орел
Инженер-конструктор
302040, г. Орел, Пожарная, д. 78, кв. 6
Тел.: 89536118627
E-mail: pavelzaitsev1993@gmail.com

Кузавка Александр Валерьевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Аспирант
302006, г. Орел, ул. Новосильская, д. 153, кв. 2
Тел.: 89192666806
E-mail: kuzavka.net@mail.ru

A.V. SYTIN, A.V. KUZAVKA, P.E. ZAYCEV

METHODS TO ENSURE MINIMUM WEAR WORK SURFACE BEARINGS WITH ELASTIC ELEMENTS IN THE PERIOD OF STARTING AND STOPPING

Abstract. *The article uses automatic experimental methods to minimize the effect of noise on the source when studying the behavior of the rotor with elastic-damper bearings under near-critical conditions and with the detection of critical frequencies. On the basis of the structural-functional scheme, the design of the stand is presented, the algorithm of operation and the design features are described in detail. APM WinMachine, necessary for the proper selection of elements and the final setup of the stand. The most actual ways of minimizing negative factors affecting the wear of the petals of the gas-dynamic bearing are described. A classification of the methods outlined is presented with a detailed*

description of the impact on the provision of minimum exports. The conclusions about the positive effects and negative components of each individual method.

Keywords: *gas bearing with elastic elements; wear elastic elements; resource of the rotor–support system; combined supports; boost; special coatings of the working surface of elastic element.*

BIBLIOGRAPHY

1. Sytin A. V. Reshenie kompleksnoy zadachi rascheta harakteristik radialnih lepestkovih gazodinamicheskikh podshipnikov: dis. kand. tehn. nauk: 01.02.06 / Sytin Anton Valerievich. – Orel, 2008. – 201 s.
2. Rumiancev M.Y., Zaharova N.E., Cigachev S.I. Primenenie lepestkovih gazodinamicheskikh podshipnikov v turbogeneratorskikh agregatakh maloy moshnosti. – Izvestiya MGTU «MAMI». Transportnye sredstva i energeticheskie ustanovki. Nauchnyy recenziruemiy gurnal. – M., MGTU «MAMI», № 4(22), 2014, t. 1, 116 s.
3. Bazlov D.O. Dinamicheskie harakteristiki kombinirovannykh opor s uprugimi elementami pereklyucheniya rotornih mashin: dis. kandidata tehn. nauk: 01.02.06 / Bazlova Denisa Olegovicha. – Orel, 2013. – 164 s.
4. Galvanicheskie pokrytiya v mashinostroenii. Spravochnik. V 2–h tomakh Pod red. M. A. Shlugera, L. D. Toka. – M.: Mashinostroenie, Tom 1, 1985 – 240 s.
5. Kazakov V. A., Shluger M. A. Iznosostoykie i antifrikcionnye galvanicheskie pokrytiya v mashinostroenii. – L.: Mashinostroenie, 1981. – 212 s.
6. Rodichev A. Y. Tehnologicheskoe povyshenie prochnosti soplevaniya i iznosostoykosti antifrikcionnogo pokrytiya bimetalicheskikh podshipnikov skolneniya. Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kand. tehn. nauk. Orel, 2011. – 224 s.
7. Koguhov M.A., Komarov N. V., Sytin A. V. Adaptivnaya kombinirovannaya opora vysokoskorostnogo rotora s uprugimi elementami mehanizma pereklyucheniya. – Sbornik nauchnykh statey II Megdunarodnoy nauchno–tehnicheskoy konferentsii (17–18 iyunya 2016 goda), v 2–h tomakh, Tom 1, / redkol.: Grechuhin A. N. (otv. redaktor); Yugo–Zapadnyy gos. un–t, Kursk, 2016. 235 s.
8. Patent RF № 2558161, 2015. Kombinirovannaya opora / MPK: F16C17/12; F16C27/02; F16C 32/06 / Savin L. A., Sytin A. V., Galichev A. S. i dr. Opubl. 27.07.2015.
9. Patent US № 6921207. Foil bearing / MPK: F16C32/04 / Minoru Matsunaga. Opubl. 26.06.2005.
10. Patent US № 6353273. Hybrid foil–magnetic bearing / MПК: F16C 32/06 / Hooshang Heshmat, H. Ming Chen, James F. Walton II. Opubl. 05.03.2002.
11. Patent US № 5885004. Hydrostatically supported foil bearing / MPK: F16C 17/03 / Joseph K. Scharrer, Robert F. Beatty. Opubl. 23.03.1999.
12. Poliakov R.N. Povyshenie dinamicheskikh kachestv i resursa opornih uzlov rotorov sovmesheniem podshipnikov kacheniya i skolneniya: dis. kandidata tehn. nauk: 01.02.06 / Poliakov Roman Nikolaevich. – Orel, 2005. – 158 s.

Sytin Anton Valerievich

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

Zaitsev Pavel Evgenievich

AO Elektrum AV
Design Engineer
302040, Orel, Pojarnaya st., 78–6
Tel.: 89536118627
E-mail: pavelzaitsev1993@gmail.com

Kuzavka Aleksandr Valerievich

FGBOU VO «OGU named after I.S.Turgenev», g. Orel
PhD student
302006, Orel, Novosil'skaya st., 153–2
Тел.: 89192666806
E-mail: kuzavka.net@mail.ru

УДК 62–251, 62–529

А.В. КОРНАЕВ, Р.К. ЗАРЕЦКИЙ

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТРАЕКТОРИЯМИ ДВИЖЕНИЯ РОТОРОВ С ЛЕПЕСТКОВЫМИ ПОДШИПНИКАМИ ПРИ СМАЗКЕ МАЛОВЯЗКИМИ ЖИДКОСТЯМИ

Аннотация. В статье рассматривается модель лепесткового подшипника, функционирующего при смазке маловязкими жидкостями. Конструкция подшипника позволяет снижать динамическую нагрузку в роторной машине за счет изменения геометрии зазора подшипника. По результатам математического моделирования была разработана и протестирована программная модель системы управления движением ротора, основанная на машинном обучении с подкреплением. Разработанная система управления позволила снизить потери на трение и вибрации в роторной машине путем непосредственного управления зазором в подшипнике и опосредованного управления результирующей гидродинамической силой, свойствами жесткости и демпфирования смазочного слоя и траекторией движения ротора.

Ключевые слова: лепестковый подшипник, гидродинамическая теория смазки, ротор, система управления, искусственная нейронная сеть, обучение с подкреплением.

Работа была поддержана научным фондом России в рамках проекта №16–19–00186 (постановка и решение задачи во всех разделах настоящего документа) и Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках проекта Net 9.2952. 2017 / 4.6 (разработка и модернизация испытательного стенда в разделе 3.3). Авторы выражают благодарность этой поддержке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Машков Е.А. Математическое моделирование и численные методы расчета неизотермических течений вязких сред в конфузторных каналах с упругой поверхностью: автореф. дис.... канд. тех. наук: 05.13.18. Брянск, 2017.
2. D. Childs, Turbomachinery rotordynamics. Phenomena, modeling, and analysis, New York: John Wiley&Sons; 1993. ISBN 0–471–53840–X.
3. M.G. Vance, Rotordynamics of turbomachinery, New York: John Wiley&Sons; 1988.
4. T. Yamamoto, Linear and nonlinear rotordynamics. A modern treatment with applications, New York: John Wiley&Sons; 2001.3.
5. Пат. 2231694 Российская Федерация, МПК F16C 19/02 (2000.01), F16C 17/00 (2000.01). Опора скольжения / Савин Л.А., Алехин А.В., Соломин О.В., Панченко А.И., Керсновский О.В.; заявитель и патентообладатель: Орловский государственный технический университет. – № 2003110901/11; заявл: 16, 04.2003; опубл: 27.06.20042.
6. Пат. 2568005 Российская Федерация, МПК F16C 27/02, F16C 32/02 (2015 г.), Лепестковый газодинамический подшипник с активным управлением / Савин Л.А. (РФ), Сытин А.В. (РФ), Тюрин В.О. (РФ), Шутин Д.В.; заявитель и патентообладатель: Орловский государственный технический университет. – № 2003110901/11; заявл: 16, 04.2015; опубл: 27.06.2017
7. Пат. 2658260 Российская Федерация, МПК F16C 17/02 (2006.01), F16C 27/02 (2006.01), F16C 32/06 (2006.01). Радиальный лепестковый газодинамический подшипник / Сигачев С.И.; заявитель и патентообладатель: Сигачев С.И. – № 2015103661; заявл: 27.08.2016 Бюл. № 24; опубл: 19.06.2018 Бюл. № 177.
8. Л. Савин, О. Соломин, Д. Устинов, «Динамика ротора на подшипниках скольжения с криогенной смазкой», Труды десятого Всемирного конгресса по машинам и механизмам, вып.. 4, стр 1716 – 1721, июнь 1999.
9. И.И. Сидоренко Управление жесткостью механических систем при помощи виброизолирующих устройств с обратной связью // Труды Одесского политехнического университета. – 2005. – №2(24). – С. 30–34.
10. Фомина Ольга Николаевна Управление динамическим поведением роторов гтд посредством опоры с регулируемой жесткостью: дис.... канд. тех. наук: 05.07.05. – М. СПб., 2010. – 172 с.
11. P. Yudha, P. Subramanya, K. Jens, B. Robert. Reinforcement learning based compensation methods for robot manipulators (2019) Int. J. The International Journal of Intelligent Real–Time Automation, doi: <https://www.journals.elsevier.com/engineering-applications-of-artificial-intelligence>
- 12 T. Yoshihisa, C. Yunduan, U. Eiji, M. Takamitsu. Deep reinforcement learning with smooth policy update: Application to robotic cloth manipulation (2018) Int. J. Robotics and Autonomous Systems, doi: <https://doi.org/10.1016/J.ROBOT.2018.11.004>
13. F. Li, Y. Chen, J. Wang, X. Zhou, B. Tang, A Reinforcement Learning Unit Matching Recurrent Neural Network for the State Trend Prediction of Rolling Bearings, Measurement (2019), doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.05.093>
14. Л.А. Савин, О.В. Соломин. Моделирование роторных систем с опорами жидкостного трения: монография. М.: Машиностроение–1, 2006.
15. Y. Hori. Hydrodynamic Lubrication. Yokendo Ltd, Tokyo, 2006.
16. A.V. Kornaeв, N.V. Kornaeв, E.P. Kornaeва, L.A. Savin, “Application of artificial neural networks to calculation of oil film reaction forces and dynamics of rotors on journal bearings” Int. J. of Rotating Machinery, vol. 2017, 11 p, 2017 [<https://doi.org/10.1155/2017/9196701>].
17. I. Goodfellow, Yo. Bengio, A. Courville. Deep Learning. MIT Press, 2016.
18. D. Childs, Turbomachinery rotordynamics. Phenomena, modeling, and analysis, New York: John Wiley&Sons; 1993. ISBN 0–471–53840–X.
19. M.G. Vance, Rotordynamics of turbomachinery, New York: John Wiley&Sons; 1988.
20. T. Yamamoto, Linear and nonlinear rotordynamics. A modern treatment with applications, New York: John Wiley&Sons; 2001.

21. L. Savin, O. Solomin, D. Ustinov, "Rotor dynamics on friction bearings with cryogenic lubrication", Proceedings of the Tenth World Congress on the Machines and Mechanisms, vol. 4, pp. 1716 – 1721, June 1999.
22. S.P. Asok, K. Sankaranarayanan, T. Sundararajan, K. Rajesh, G.S. Ganeshan, "Neural network and CFD-based optimisation of square cavity and curved cavity static labyrinth seals", Tribology International, vol. 40, issue 7, pp. 1204 – 1216, 2007.
23. Y. Hori, Hydrodynamic lubrication, Tokyo: Yokendo Ltd; 2006.
24. M. Kalkat, S. Yildirim and I. Uzmay, "Rotor dynamics analysis of rotating machine system using artificial neural networks", International Journal of Rotating Machinery, 9 p., 2003. DOI: 10.1080/10236210390202874.
25. M. Karkoub and A. Elkamel, "Modelling pressure distribution in a rectangular gas bearing using neural networks", Tribology International, vol. 30, issue 2, pp. 139 – 150, 1997.
26. A.D. Dongare, A.D. Kachare, "Predictive tool: an artificial neural network", International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), vol. 2, Issue 1, pp. 209 – 214, 2012.
27. P. Qin, Y. Shen, J. Zhu and H. Xu, "Dynamic analysis of hydrodynamic bearing-rotor system based on neural network", International Journal of Engineering Science, vol. 43, pp. 520 – 531, 2005.
28. A.S. Kurban and S.Yildirim, "Analysis of a hydrodynamic thrust bearing with elastic deformation using a recurrent neural network", Tribology International, vol. 36, issue 12, pp. 943 – 948, 2003.
29. J. Ghorbanian, M. Ahmadi, R. Soltani, "Design predictive tool and optimization of journal bearing using neural network model and multi-objective genetic algorithm", Scientia Iranica, Transactions B: Mechanical Engineering, vol. 18, pp. 1095 – 1105, 2011.
30. M. Simsir, R. Bayir and Y. Uyaroglu, "Real-time monitoring and diagnostic of a low power hub motor using feedforward neural network", Computational Intelligence and Neuroscience, vol. 2016, 13 p., 2016.
31. B. Samanta, K.R. Al-Balushi, S.A. Al-Araimi, "Bearing fault detection using artificial neural networks and genetic algorithm", EURASIP Journal of Applied Signal Processing, vol. 3, pp. 366 – 377, 2004.
32. M. Subrahmanyam and C. Sujatha, "Using neural networks for the diagnosis of localized defects in ball bearings", Tribology International, vol. 30, pp. 739 – 752, 1997.
33. K.M. Saridakis, P.G. Nikolakopoulos, C.A. Papadopoulos, A.J. Dentsoras, "Identification of wear and misalignment on journal bearings using artificial neural networks", Proc. IMechE. Part J: J. Engineering Tribology, vol. 226, pp. 46–56, 2011. DOI: 10.1177/1350650111424237.
34. S.G. Tores, C. Bonello and P. Bonello, "Empirical identification of the inverse model of a squeeze-film damper bearing using neural networks and its application to a nonlinear inverse problem", Journal of Vibration and Control, 22 p., 2016.
35. S. Morishita, T. Ura, "ER fluid applications to vibration control devices and an adaptive neural-net controller", Journal of Intelligent Material Systems and Structures, vol. 4, 11 p., 1993.
36. R. Jha and Ch. He, "Adaptive neurocontrollers for vibration suppression of nonlinear and time varying structures", Journal of Intelligent Material Systems and Structures, vol. 15, 11 p., 2004. DOI: 10.1177/1045389X04043899.
37. S.Y. Chen, Y.C. Hung, Y.H. Hung, C.H. Wu, "Application of a recurrent wavelet fuzzy-neural network in the positioning control of a magnetic-bearing mechanism", Computers & Electrical Engineering, vol. 54, pp. 147–158, 2016.
38. P.-Y. Couzon, J.Der Hagopian, "Neuro-fuzzy active control of rotor suspended on active magnetic bearing", Journal of Vibration and Control, vol. 13(4), 20 p., 2007. DOI: 10.1177/1077546307074578.
39. C.R. Burrows, P.S. Keogh and M.N. Sahinkaya, "Progress towards smart rotating machinery through the use of active bearings", Proc. IMechE. Part C: J. Mechanical Engineering Science, vol. 223, 11 p., 2009. DOI: 10.1243/09544062JMES1487.
40. Pat. US 4445792, МПК F16C 32/06, F16C 23/02 (1984). Variable preload foil bearing / Richard j. Trippett (US); Assignee: Motors Liquidation Co. – № 443196; field: nov. 22, 1982; published: may 1, 1984
41. Л.А. Савин, О.В. Соломин. Моделирование роторных систем с опорами жидкостного трения: монография. М.: Машиностроение–1, 2006.
42. Y. Hori. Hydrodynamic Lubrication. Yokendo Ltd, Tokyo, 2006.
43. A.V. Kornaeв, N.V. Kornaeв, E.P. Kornaeва, L.A. Savin, "Application of artificial neural networks to calculation of oil film reaction forces and dynamics of rotors on journal bearings" Int. J. of Rotating Machinery, vol. 2017, 11 p, 2017 [https://doi.org/10.1155/2017/9196701].
44. I. Goodfellow, Yo. Bengio, A. Courville. Deep Learning. MIT Press, 2016.
45. М.К. Леонтьев, С.А. Дегтярев. "Динамика роторных систем при кинематическом возбуждении" Вестник Воронежского государственного технического университета, 2012.
46. Timothy P. Lillicrap, Jonathan J. Hunt, Alexander Pritzel, Nicolas Heess, Tom Erez, Yuval Tassa, David Silver & Daan Wierstra. "Continuous control with deep reinforcement learning". arXiv:1509.02971, 2016

Зарецкий Роман Константинович
ОГУ имени И.С. Тургенева, г. Орел
Студент

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. 89208182314
E-mail: kogots@bk.ru

Корнаев Алексей Валерьевич
ОГУ имени И.С. Тургенева, г. Орел
Доктор технических наук, доцент кафедры
мехатроники, механики и робототехники
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. 89208182314
E-mail: rusakor@inbox.ru

A.V KORNAEV, R. K. ZARETSKIY

APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS TO CONTROL THE TRAJECTORIES OF THE ROTORS WITH FOIL BEARINGS WHILE LUBRICATING WITH LOW-VISCOSITY FLUIDS

Abstract. *The article discusses the model of the foil bearing, which works when lubricating with low-viscosity liquids, allowing to reduce the load on the bearing due to a change in its gap geometry. According to the results of mathematical modeling, the control system of this installation was developed and tested in a software environment based on a model of a neural learning network with reinforcement that reduced friction losses and vibrations in a rotary machine by directly controlling the clearance in the bearing and indirectly controlling the resulting hydrodynamic force and the trajectory of the rotor.*

Keywords: foil bearing, hydrodynamic lubrication theory, rotor, artificial neural network, reinforcement learning.

BIBLIOGRAPHY

1. Mashkov E.A Matematicheskoe modelirovanie i chislennyye metody rascheta neizotermicheskikh techeniy vyazkikh sred v konfuzornyykh kanalah s uprugoy poverhnostyu: avtoref. dis.... kand. tekhn. nauk: 05.13.18. Bryansk, 2017.
2. D. Childs, Turbomachinery rotordynamics. Phenomena, modeling, and analysis, New York: John Wiley&Sons; 1993. ISBN 0-471-53840-X.
3. M.G. Vance, Rotordynamics of turbomachinery, New York: John Wiley&Sons; 1988.
4. T. Yamamoto, Linear and nonlinear rotordynamics. A modern treatment with applications, New York: John Wiley&Sons; 2001.
5. Pat. 2231694 Rossiyskaya Federatsiya, MPK F16C 19/02 (2000.01), F16C 17/00 (2000.01). Opory skolzheniya / Savin L.A., Alekhin A.V., Solomin O.V., Panchenko A.I., Kersnovskiy O.V.; zayavitel i patentoobladatel: Orlovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskoy universitet. – № 2003110901/11; zayavl.: 16.04.2003; opubl.: 27.06.2004.
6. Pat. 2568005 Rossiyskaya Federatsiya, MPK F16C 27/02, F16C 32/02 (2015 g.), Lepetkovyy gazodinamicheskoy podshipnik s aktivnym upravleniem / Savin L.A. (RF), Sytin A.V. (RF), Tyurin V.O. (RF), SHutin D.V.; zayavitel i patentoobladatel: Orlovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskoy universitet. – № 2003110901/11; zayavl.: 16.04.2015; opubl.: 27.06.2017.
7. Pat. 2658260 Rossiyskaya Federatsiya, MPK F16C 17/02 (2006.01), F16C 27/02 (2006.01), F16C 32/06 (2006.01). Radialnyy lepetkovyy gazodinamicheskoy podshipnik / Sigachev S.I.; zayavitel i patentoobladatel: Sigachev S.I. – № 2015103661; zayavl.: 27.08.2016 Byul. № 24; opubl.: 19.06.2018 Byul. № 177.
8. L. Savin, O. Solomin, D. Ustinov, «Dinamika rotora na podshipnikah skolzheniya s kriogennoy smazkoj», Trudy desyatykh Vsemirnogo kongressa po mashinam i mekhanizmam, vyp. 4, str 1716 – 1721, iyun 1999.
9. I.I. Sidorenko Upravlenie zhestkostyu mekhanicheskikh sistem pri pomoshchi vibroizoliruyushchih ustroystv s obratnoy svyazyu // Trudy Odesskogo politekhnicheskogo universiteta. – 2005. – №2(24). – S. 30–34.
10. Fomina Olga Nikolaevna Upravlenie dinamicheskimi povedeniyami rotorov gtd posredstvom opory s reguliruemoy zhestkostyu: dis.... kand. tekhn. nauk: 05.07.05. – M. SPb., 2010. – 172 s.
11. P. Yudha, P. Subramanya, K. Jens, B. Robert. Reinforcement learning based compensation methods for robot manipulators (2019) Int. J. The International Journal of Intelligent Real-Time Automation, doi: <https://www.journals.elsevier.com/engineering-applications-of-artificial-intelligence>
12. T. Yoshihisa, C. Yunduan, U. Eiji, M. Takamitsu. Deep reinforcement learning with smooth policy update: Application to robotic cloth manipulation (2018) Int. J. Robotics and Autonomous Systems, doi: <https://doi.org/10.1016/J.ROBOT.2018.11.004>
13. F. Li, Y. Chen, J. Wang, X. Zhou, B. Tang, A Reinforcement Learning Unit Matching Recurrent Neural Network for the State Trend Prediction of Rolling Bearings, Measurement (2019), doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.05.093>
14. L.A. Savin, O.V. Solomin. Modelirovanie rotornykh sistem s oporami zhidkostnogo treniya: monografiya. M.: Mashinostroeniye–1, 2006.
15. Y. Hori. Hydrodynamic Lubrication. Yokendo Ltd, Tokyo, 2006.
16. A.V. Kornayev, N.V. Kornayev, E.P. Kornayeva, L.A. Savin, “Application of artificial neural networks to calculation of oil film reaction forces and dynamics of rotors on journal bearings” Int. J. of Rotating Machinery, vol. 2017, 11 p, 2017 [<https://doi.org/10.1155/2017/9196701>].
17. I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville. Deep Learning. MIT Press, 2016.
18. D. Childs, Turbomachinery rotordynamics. Phenomena, modeling, and analysis, New York: John Wiley&Sons; 1993. ISBN 0-471-53840-X.
19. M.G. Vance, Rotordynamics of turbomachinery, New York: John Wiley&Sons; 1988.
20. T. Yamamoto, Linear and nonlinear rotordynamics. A modern treatment with applications, New York: John Wiley&Sons; 2001.
21. L. Savin, O. Solomin, D. Ustinov, “Rotor dynamics on friction bearings with cryogenic lubrication”, Proceedings of the Tenth World Congress on the Machines and Mechanisms, vol. 4, pp. 1716 – 1721, June 1999.

22. S.P. Asok, K. Sankaranarayanan, T. Sundararajan, K. Rajesh, G.S. Ganeshan, "Neural network and CFD-based optimisation of square cavity and curved cavity static labyrinth seals", *Tribology International*, vol. 40, issue 7, pp. 1204 – 1216, 2007.
23. Y. Hori, *Hydrodynamic lubrication*, Tokyo: Yokendo Ltd; 2006.
24. M. Kalkat, S. Yildirim and I. Uzmay, "Rotor dynamics analysis of rotating machine system using artificial neural networks", *International Journal of Rotating Machinery*, 9 p., 2003. DOI: 10.1080/10236210390202874.
25. M. Karkoub and A. Elkamel, "Modelling pressure distribution in a rectangular gas bearing using neural networks", *Tribology International*, vol. 30, issue 2, pp. 139 – 150, 1997.
26. A.D. Dongare, A.D. Kachare, "Predictive tool: an artificial neural network", *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, vol. 2, Issue 1, pp. 209 – 214, 2012.
27. P. Qin, Y. Shen, J. Zhu and H. Xu, "Dynamic analysis of hydrodynamic bearing-rotor system based on neural network", *International Journal of Engineering Science*, vol. 43, pp. 520 – 531, 2005.
28. A.S. Kurban and S.Yildirim, "Analysis of a hydrodynamic thrust bearing with elastic deformation using a recurrent neural network", *Tribology International*, vol. 36, issue 12, pp. 943 – 948, 2003.
29. J. Ghorbanian, M. Ahmadi, R. Soltani, "Design predictive tool and optimization of journal bearing using neural network model and multi-objective genetic algorithm", *Scientia Iranica, Transactions B: Mechanical Engineering*, vol. 18, pp. 1095 – 1105, 2011.
30. M. Simsir, R. Bayir and Y. Uyaroglu, "Real-time monitoring and diagnostic of a low power hub motor using feedforward neural network", *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2016, 13 p., 2016.
31. B. Samanta, K.R. Al-Balushi, S.A. Al-Araimi, "Bearing fault detection using artificial neural networks and genetic algorithm", *EURASIP Journal of Applied Signal Processing*, vol. 3, pp. 366 – 377, 2004.
32. M. Subrahmanyam and C. Sujatha, "Using neural networks for the diagnosis of localized defects in ball bearings", *Tribology International*, vol. 30, pp. 739 – 752, 1997.
33. K.M. Saridakis, P.G. Nikolakopoulos, C.A. Papadopoulos, A.J. Dentsoras, "Identification of wear and misalignment on journal bearings using artificial neural networks", *Proc. IMechE. Part J: J. Engineering Tribology*, vol. 226, pp. 46–56, 2011. DOI: 10.1177/1350650111424237.
34. S.G. Tores, C. Bonello and P. Bonello, "Empirical identification of the inverse model of a squeeze-film damper bearing using neural networks and its application to a nonlinear inverse problem", *Journal of Vibration and Control*, 22 p., 2016.
35. S. Morishita, T. Ura, "ER fluid applications to vibration control devices and an adaptive neural-net controller", *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, vol. 4, 11 p., 1993.
36. R. Jha and Ch. He, "Adaptive neurocontrollers for vibration suppression of nonlinear and time varying structures", *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, vol. 15, 11 p., 2004. DOI: 10.1177/1045389X04043899.
37. S.Y. Chen, Y.C. Hung, Y.H. Hung, C.H. Wu, "Application of a recurrent wavelet fuzzy-neural network in the positioning control of a magnetic-bearing mechanism", *Computers & Electrical Engineering*, vol. 54, pp. 147–158, 2016.
38. P.-Y. Couzon, J.Der Hagopian, "Neuro-fuzzy active control of rotor suspended on active magnetic bearing", *Journal of Vibration and Control*, vol. 13(4), 20 p., 2007. DOI: 10.1177/1077546307074578.
39. C.R. Burrows, P.S. Keogh and M.N. Sahinkaya, "Progress towards smart rotating machinery through the use of active bearings", *Proc. IMechE. Part C: J. Mechanical Engineering Science*, vol. 223, 11 p., 2009. DOI: 10.1243/09544062JMES1487.
40. Pat. US 4445792, MPK F16C 32/06, F16C 23/02 (1984). Variable preload foil bearing / Richard j. Trippett (US); Assignee: Motors Liquidation Co. – № 443196; field: nov. 22, 1982; published: may 1, 1984
41. L.A. Savin, O.V. Solomin. *Modelirovanie rotornyh sistem s oporami zhidkostnogo treniya: monografiya*. M.: Mashinostroenie–1, 2006.
42. Y. Hori. *Hydrodynamic Lubrication*. Yokendo Ltd, Tokyo, 2006.
43. A.V. Kornae, N.V. Kornae, E.P. Kornae, L.A. Savin, "Application of artificial neural networks to calculation of oil film reaction forces and dynamics of rotors on journal bearings" *Int. J. of Rotating Machinery*, vol. 2017, 11 p, 2017 [<https://doi.org/10.1155/2017/9196701>].
44. I. Goodfellow, Yo. Bengio, A. Courville. *Deep Learning*. MIT Press, 2016.
45. M.K. Leontev, S.A. Degtyarev. "Dinamika rotornyh sistem pri kinematicheskoy vozbuzhdenii" *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012.
46. Timothy P. Lillicrap, Jonathan J. Hunt, Alexander Pritzel, Nicolas Heess, Tom Erez, Yuval Tassa, David Silver & Daan Wierstra. "Continuous control with deep reinforcement learning". arXiv:1509.02971, 2016

Zaretskiy Roman Konstantinovich

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

302020, Orel, Naugorskoye shosse, 29
Ph.:89208182314
E-mail: kogots@bk.ru

Kornae Aleksey Valerevich

Orel State University named after I.S.Turgenev, Orel
Doctor of technical Sciences, associate professor
Faculty «Mekhatronika. mekhanika i robototekhnika»
302020, Orel, Naugorskoye shosse, 29
Ph.:89208182314
E-mail: rusakor@inbox.ru

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

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОТЫ АМОРТИЗАТОРА ПРЕРЫВИСТОГО ДЕЙСТВИЯ МЕТОДАМИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ И ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема повышения качества виброзащиты. Приведены результаты статистических испытаний и имитационного моделирования работы базовой модели амортизатора прерывистого действия с дополнительным позиционируемым упругим звеном. Выполнен вывод о том, что влияние прерывистого компенсационного воздействия на виброзащитные свойства базовой модели наиболее существенно в области резонансных частот – во второй октавной полосе частот. Базовая модель позволяет уменьшить контролируемый параметр по сравнению с подвеской штатного сиденья в 3.2 раза, что в логарифмических единицах составляет 10 дБ. На входе и выходе опытной и штатной подвески сиденья спектральный состав виброускорений практически одинаков. Замена пассивной виброзащитной системы на управляемую выполненную по схеме базовой модели с дополнительным позиционируемым упругим звеном прерывистого действия позволяет практически в 2 раза снизить уровень интенсивности резонансных колебаний. Базовая модель обеспечивает повышенные антирезонансные свойства динамической системы «основание – подвеска – оператор» и может быть рекомендована в качестве прототипа для разработки подвески сиденья дорожно–строительной техники нового поколения.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.1.012–90 "ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования". Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.556–96 "Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий".
2. Чернышев В.И. Основы теории виброзащитных систем с непрямым импульсным управлением / В.И. Чернышев // Материалы международного научного симпозиума «Механизмы и машины ударного, периодического и вибрационного действия». – Орел: ОрелГТУ, 2000. – С.163 – 167.
3. Прокопов Е.Е. Анализ динамики переключений жесткости / Е.Е. Прокопов // Известия Юго–Западного государственного университета. Серия техника и технологии. – 2016. – №3 (20). – С.124 – 128.с.
4. Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле.– М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.
5. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1977. – 479 с.
6. Очков В.Ф. MathCAD 7 PRO для студентов и инженеров. – М.: Компьютер Пресс, 1998. – 384 с.
7. Прокопов Е.Е. Исследование подвески с амортизатором прерывистого действия для сиденья мобильных машин / Е.Е. Прокопов, В.И. Чернышев, О.В. Фомина // Механизация и электрофикация сельского хозяйства. – 2006. – №10. – С. 29 – 31.
8. Чегодаев Д.Е. Управляемая виброизоляция / Д.Е. Чегодаев, Ю.В.Шатилов. – Самара, 1995. – 144 с.
9. Прокопов Е.Е. Динамика систем виброзащиты с нелинейной характеристикой восстанавливающих сил / Е.Е. Прокопов // Материалы всероссийской научно–методической конференции «Проектирование машин, роботов и мехатронных систем». – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2017. – С.48–50.
10. Прокопов Е.Е. Математическое моделирование низкочастотного амортизатора сиденья транспортного средства / Е.Е. Прокопов // Материалы международной научно–технической конференции «Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ–2015)». □ Курск: ЮЗГУ, 2015. – С.189–192.

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

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

Токмаков Никита Владимирович
ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
Студент
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79208182314
E–mail: gorin57@mail.ru

PERFECTION OF WORK OF THE DAMPER INTERRUPTED ACTION BY STATISTICAL METHODS TESTING AND IMITATION MODELING

Abstract. *The article deals with the actual problem of improving the quality of vibration protection. The results of statistical testing and simulation modeling of the underlying model amortizatio–RA intermittent palaniswamy with additional elastic element, which allows to conclude that, the influence of intermittent compensation effect on vibration isolation properties of the underlying model, most significantly in the field of resonant frequencies in the second octave frequency band. The basic model makes it possible to reduce the controlled parameter compared to the suspension of the regular seat by 3.2 times, which in logarithmic units is 10 dB. At the entrance and exit of the experimental and regular seat suspension, the spectral composition of the vibration accelerations is almost the same. Replacement of the passive vibration protection system with a controlled one made according to the scheme of the base model with an additional positioned elastic link of intermittent action allows to reduce the level of intensity of resonant vibrations by almost 2 times. The base model provides enhanced anti–resonance properties of the dynamic system "base – suspension – operator" and can be recommended as a prototype for the development of a new generation of seat suspension grader.*

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

BIBLIOGRAPHY

1. GOST 12.1.012–90 "SSBT. Vibration safety. General requirements." Sanitary standards SN 2.2.4/2.1.8.556–96 "Industrial vibration, vibration in the premises of residential and public buildings."
2. Chernyshev V. I. Fundamentals of the theory of vibration protection systems with indirect pulse control / V. I. Chernyshev // Proceedings of the international scientific Symposium "Mechanisms and machines of shock, periodic and vibration action". – Eagle: OrelGTU, 2000. – C. 163 – 167.
3. Prokopov E. Analysis of the dynamics of the switching–spring / E. E. Prokopov // news of southwest state University. Series of equipment and technology. – 2016. – №3 (20). – C. 124 – 128.S. AFR.
4. Timoshenko S. P., Young D. H., Weaver, W., Vibrations in engineering. – Moscow: Mechanical Engineering, 1985. – 472 p.
5. Gmurman V. E. Probability theory and mathematical statistics. M.: Higher school, 1977. – 479 p.
6. Ochkov V. F. MathCAD 7 PRO for students and engineers. – M.: Computer Press, 1998. – 384 p.
7. Prokopov E. E. Study of the suspension c shock intermittent seat of mobile machines / E. E. Prokopov, V. I. Chernyshev, O. V. Fominova // Mechanization and electrification of agriculture. 2006. No. 10. – P. 29 – 31.
8. Chegodaev D. E. Controlled vibration isolation / D. E. Chegodaev, Yu. V. Shatilov. – Samara, 1995. – 144 s.
9. Dynamics of vibration protection systems with nonlinear characteristics of restoring forces / E. E. Prokopov // Materials of the all–Russian scientific and methodological conference "Design of machines, robots and mechatronic systems". – Oryol: OSU im. I. S. Turgeneva, 2017. – P. 48–50.
10. Prokopov E. E. Mathematical modeling of low–frequency shock absorber of the vehicle seat / E. Prokopov // Proceedings of the international scientific and technical conference "Modern automotive materials and technologies (SAMIT–2015)". Kursk: SWSU, 2015. – P. 189–192.

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

Gorin Andrei Vladimirovich
Orel State University named after
I.S. Turgenev
candidate of Technical Science,
Associate Professor at the
Department of mechatronics,
mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse,
29
Ph.: +79102600267
E–mail: gorin57@mail.ru

Tokmakov Nikita Vladimirovich
Orel State University named after
I.S. Turgenev
Student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse,
29
Ph.: +79208182314
E–mail: gorin57@mail.ru

А.В. КОРНАЕВ, А.С. ФЕТИСОВ, Ю.Н. КАЗАКОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ АКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Аннотация. В статье представлена конструкция подшипникового узла для изучения систем активного управления на основе нейронной сети. Представлена элементная база экспериментальной установки. Показаны механизмы работы отдельных сенсорных устройств

Ключевые слова: экспериментальный стенд, нейронная сеть, система активного управления, сенсорное устройство, подшипник скольжения

Настоящее исследование выполнено в рамках выполнения проекта РНФ №16–19–00186

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савин Л.А. Моделирование роторных систем с опорами жидкостного трения: монография / Л.А. Савин, О.В. Соломин // М.: Машиностроение–1, 2006. 444 с.
2. Smart machine advances in rotating machinery/ Maslen E.H. //Proc. of IMECHE 9th Intern. Conf. on Vibrations in Rotating Machinery. Exeter, UK, 2008. P. 3–14.
3. Мехатронные устройства роторных агрегатов / Л.А. Савин, Р.Н. Поляков, Д.В. Шутин, А.В. Кузавка // Известия ТулГУ, 2016. – №12–2. – С. 296–304.
4. Применение нейросетевых методов в исследовании гидродинамических процессов в подшипниках скольжения / Н.В. Корнаев, Е.П. Корнаева, А.В. Корнаев // Известия ТулГУ, 2018. – №10. – С. 157 – 164.
5. Шасси CompactDAQ NI CDAQ. URL: <https://www.ni.com/ru-ru/support/model.cdaq-9178.html>
6. Influence of bearing materials on plain bearing performance in low viscosity base oil lubrication / Tadashi Katafuchi, Moritsugu Kasai, Tomomi Miyaji. – Int. J. Surface Science and Engineering, Vol. 4, No. 2, 2010. – Pp. 138–154.
7. Технический паспорт частотного преобразователя ATV312. – URL: https://www.payor.ru/f/Altivar_312_ATV312HU22M2.pdf
8. Руководство по программированию Altivar 312. URL: https://electroautomatica.ru/img/documentation/ATV312_Programming_Guide_ru.pdf

Корнаев Алексей Валерьевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
д-р техн. наук, с.н.с. «Моделирование
гидромеханических систем»
E-mail: rusakor@inbox.ru

Фетисов Александр Сергеевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
стажёр–исследователь ПНИЛ «Моделирование
гидромеханических систем»
E-mail: fetisov57rus@mail.ru

Казakov Юрий Николаевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
студент
E-mail: KazakYurii@yandex.ru

A.V. KORNAEV, A.S. FETISOV, Yu.N. KAZAKOV

EXPERIMENTAL ASSEMBLY FOR STUDY OF ACTIVE CONTROL SYSTEMS BASED ON NEURAL NETWORKS

Abstract. The article presents the design of the bearing assembly for the study of active management systems based on the neural network. The element base of the experimental assembly is present. The mechanisms of operation of individual sensory devices are shown.

Keywords: experimental assembly, neural network, active control system, sensor device, sliding bearing.

BIBLIOGRAPHY

1. Savin L.A. Modelirovaniye rotornykh sistem s oporami zhidkostnogo treniya: monografiya / L.A. Savin. O.V. Solomin // M.: Mashinostroyeniye–1. 2006. 444 c.
2. Smart machine advances in rotating machinery/ Maslen E.H. //Proc. of IMECHE 9th Intern. Conf. on Vibrations in Rotating Machinery. Exeter. UK. 2008. P. 3–14.
3. Mekhatronnyye ustroystva rotornykh agregatov / L.A. Savin. R.N. Polyakov. D.V. Shutin. A.V. Kuzavka // Izvestiya TulGU. 2016. – №12–2. – S. 296–304.
4. Primeneniye neyrosetevykh metodov v issledovanii gidrodinamicheskikh protsessov v podshipnikakh skolzheniya / N.V. Kornayev. E.P. Kornayeva. A.V. Kornayev // Izvestiya TulGu. 2018. – №10. – S. 157 – 164.
5. Shassi CompactDAQ NI CDAQ. URL: <https://www.ni.com/ru-ru/support/model.cdaq-9178.html>
6. Influence of bearing materials on plain bearing performance in low viscosity base oil lubrication / Tadashi Katafuchi. Moritsugu Kasai. Tomomi Miyaji. – Int. J. Surface Science and Engineering. Vol. 4. No. 2. 2010. –Pp.138–154.
7. Tekhnicheskiy pasport chastotnogo preobrazovatelya ATV312. – URL: https://www.payor.ru/f/Altivar_312_ATV312HU22M2.pdf
8. Rukovodstvo po programmirovaniyu Altivar 312. URL: https://electroautomatica.ru/img/documentation/ATV312_Programming_Guide_ru.pdf

Kornaev Alexey Valerievich

Orel State University,
Doctor of Sciences, Senior Researcher RL "Modeling
of hydromechanical systems"
E-mail: rusakor@inbox.ru

Fetisov Alexander Sergeevich

Orel State University,
Trainee–researcher RL "Modeling of hydromechanical
systems"
E-mail: fetisov57rus@mail.ru

Kazakov Yuri Nikolaevich

Orel State University, student
E-mail: KazakYurii@yandex.ru

УДК 621.7

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

ВЛИЯНИЯ СИЛЫ ИНЕРЦИИ НА ПРОЧНОСТЬ СЦЕПЛЕНИЯ АНТИФРИКЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ

Аннотация. В статье представлены результаты влияния силы инерции на прочность сцепления антифрикционного покрытия. Предложен математический аппарат для расчета сил инерции действующих на частицу антифрикционного покрытия. Представлены результаты теоретического расчета влияния ряда параметров расположения газопламенной горелки относительно обрабатываемой детали. В результате выявлены зависимости позволяющие прогнозировать адгезию антифрикционного покрытия с металлическим основанием при газопламенном напылении.

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

Представленный материал выполнен в рамках проекта №9.2952.2017/4.6. государственного задания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Газотермические покрытия из порошковых материалов. Справочник / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко, Е.Н. Ардатовская – Киев: Наукова думка, 1987
2. Порошковая металлургия и напыленные покрытия: Учебник для ВУЗов. В.Н. Анциферов, Г.В. Бобров, Л.К. Дружинин и др. – М.: Мет-я, 1987.
3. Ярошевич В.К., Белорецкий М.А. Антифрикционные покрытия из металлических порошков. – Минск: Наука и техника, 1981. – 175 с.
4. Новиков, А.Н. Технологические основы восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственной техники из алюминиевых сплавов электрохимическими способами. –Орел: Изд-во ОрелГАУ, 2001. –233 с.
5. Курбатова И.А. Технология, структура и свойства антифрикционных материалов на основе системы железо–медь, содержащих графит. Диссертация к.т.н.–М., 1986.
6. Кутьков А.А. Износостойкие и антифрикционные покрытия.– М.: Машиностроение, 1976. – 152 с.

7. Rodichev, A.Y., Sytin, A.V., Barabash, V.V., Technological increase of adhesion strength between anti-friction coating and base in bimetal fluid-film bearings / Solid State Phenomena: International Conference on Industrial Engineering, ICIE-2017. Volume 265 SSP, 2017, Pages 284–289.
8. Welding and spraying / Hasuy A., Morigaki O., – М.: Engineering 1985. – 240 p.
9. Зимон А.Д. Адгезия пленок и покрытий. М.: Химия, 1977. – 345с.
10. Горин, А.В. Объемный гидропривод комбинированной машины для образования скважин в грунтах: монография / А.В. Горин, Д.Н. Ешуткин, М.А. Горина. – Орел: Госуниверситет – УНПК, 2015. – 127 с.
11. Дерягин Б.В., Кротова Н.Л., Смилга В.П. Адгезия твердых тел. – М.: Наука, 1973. – 279с.
12. Коробов, Ю.С. Анализ свойств газотермических покрытий: [учеб. пособие]: в 2 ч. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. Ч. 2 / . – 92 с.
13. Шмелева, М.Н. Контролер работ по металлопокрытиям. – М.: Машиностроение, 1980. – 176 с.
14. Новиков, А.Н. Ремонт деталей из алюминия и его сплавов. Орел: ОГСХА, 1997. –57 с.

Родичев Алексей Юрьевич
ФГБОУ ВО «Орловский
государственный университет имени
И.С. Тургенева», г. Орел
Кандидат технических наук, доцент
кафедры «Мехатроника, механика и
робототехника»
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе,
29
E-mail: rodfox@yandex.ru

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

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

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

INFLUENCE OF FORCE OF INERTIA ON THE STRENGTH OF COUPLING OF ANTIFRICTION COATING

Abstract. *The article presents the results of the influence of inertia on the adhesion strength of the antifriction coating. A mathematical apparatus is proposed for calculating the inertia forces acting on an antifriction coating particle. The results of a theoretical calculation of the influence of a number of parameters of the location of a gas flame burner relative to the workpiece are presented. As a result, dependences were revealed that make it possible to predict the adhesion of an antifriction coating with a metal base during flame spraying.*

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

BIBLIOGRAPHY

1. Thermal coatings of powder materials. Reference book / Yu.S..Borisov, Yu.A. Kharlamov, S.L. Sidorenko, E.N. Ardatovskaya – Kiev: Naukova Dumka, 1987
2. Powder metallurgy and sprayed coatings: Textbook for universities. V.N. Antsiferov, G.V. Bobrov, L.K. Druzhinin et al. – М.: Met-I, 1987.
3. Yaroshevich V.K., Beloretsky M.A. Anti-friction coatings from metal powders. – Minsk: Science and Technology, 1981. – 175 p.
4. Novikov, A.N. Technological basis for the restoration and hardening of parts of agricultural machinery from aluminum alloys by electrochemical methods. –Orel: Publishing House of Orel State Agrarian University, 2001. 233p.
5. Kurbatova I.A. Technology, structure and properties of antifriction materials based on the iron-copper system containing graphite. The dissertation is candidate of technical sciences – М., 1986.
6. Kutkov A.A. Wear-resistant and anti-friction coatings. – М.: Mechanical Engineering, 1976. – 152 p.
7. Rodichev, A.Y., Sytin, A.V., Barabash, V.V., Technological increase of adhesion strength between anti-friction coating and base in bimetal fluid-film bearings / Solid State Phenomena: International Conference on Industrial Engineering, ICIE-2017. Volume 265 SSP, 2017, Pages 284–289.
8. Welding and spraying / Hasuy A., Morigaki O., – М.: Engineering 1985. – 240 p.
9. Zimon A.D. Adhesion of films and coatings. М.: Chemistry, 1977.— 345 p.
10. Gorin, A.V. Volumetric hydraulic drive of a combined machine for the formation of wells in soils: monograph / A.V. Gorin, D.N. Yeshutkin, M.A. Gorina. Orel: State University – UNPK, 2015.— 127 p.
11. Deryagin B.V., Krotova N.L., Smilga V.P. Adhesion of solids. – М.: Nauka, 1973.– 279 p.
12. Korobov, Yu.S. Analysis of the properties of thermal coatings: [textbook. allowance]: at 2 oclock – Yekaterinburg: Publishing House Ural. University, 2016. Part 2 / . – 92 p.
13. Shmeleva, M.N. Supervisor of work on metal coatings. – М.: Mechanical Engineering, 1980. – 176 p.
14. Novikov, A.N. Repair of parts from aluminum and its alloys. Eagle: OGSHA, 1997. –57 p.

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

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

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

УДК 629.4.027.4: 656.2

Д.Я. АНТИПИН, М.И. БОРЗЕНКОВ, В.И. ВОРОБЬЕВ, О.В. ДОРОФЕЕВ,
С.Н. ЗЛОБИН, О.В. ИЗМЕРОВ, А.В. САМОТКАНОВ

ОБЪЕКТНАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЯГОВОГО ПРИВОДА КОЛЕСНО–МОТОРНОГО БЛОКА

Аннотация. Рассмотрена задача выбора объектной модели технических решений механической части тягового привода на примере локомотива. Предложена модель в виде иерархии множеств описаний при разной степени его схематизации и библиотеки описания типовых объектов в виде иерархической структуры функционального взаимодействия между элементами, позволяющая реализовать автоматические подсказки в виде типовых конструкций из библиотеки описаний, найденные с помощью матриц мер сходства. Применение предложенной объектной модели позволило получить новые патентоспособные решения подвески тягового привода.

Ключевые слова: математическое моделирование, объектная модель, тяговый привод, автоматизация проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов, Ю.Н. Повышение надежности узлов тягового привода пассажирских электровозов ЭП1М и ЭП10 / Ю.Н. Соколов, А.С. Пономарев, В.Е. Дегтярев // Локомотив–информ. – 2010. – № 6. – С. 4–11.
2. Вахромеева Т.О. Снижение динамических нагрузок в тяговых проводах электровозов с рамным подвешиванием тяговых двигателей и карданными муфтами. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. / Т.О. Вахромеева // МГУПС, Москва, 2014 – 24 с.
3. Корнев А.М.. Модернизация системы подвешивания ТЭД электровоза постоянного тока 2ЭС6 / А.М. Корнев, Д.В. Липунов // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов / Омский гос. ун–т путей сообщения. Омск, 2016. С. 237–242.
4. Аверченков В.И. Основы математического моделирования технических систем: учеб. пособие / В.И. Аверченков, В.П. Федоров, М.Л. Хейфец // Брянск, Изд–во БГТУ, 2004. – 271с.
5. Никитин С.В. Моделирование новых технических решений локомотивов: учебное пособие / С.В. Никитин // Брянск, БИТМ, 1988 – 84 с.
6. Запорожцев А.В. Моделирование технических систем: статья /А.В. Запорожцев // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8–6. – С. 1288–1294.
7. Измеров О.В. Классификация как инструмент синтеза механической части тяговых приводов железнодорожного подвижного состава / О.В. Измеров, Г.С. Михальченко // Мир транспорта и технологических машин. – Оrel, ГУ–УНПК (Госуниверситет–УНПК), 2012. – №4 (39). – С. 53–60.
8. Воробьев В.И. Общие принципы классификации механической части тяговых приводов локомотивов + [Электронный ресурс] / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.А. Пугачев, Д.А. Бондаренко // Совершенствование энергетических машин: сб. науч. тр. / под ред. В.В. Рогова. – Брянск: БГТУ, 2015., С. 241–248.
9. Измеров О.В. Кибернетические аспекты методов синтеза электромеханических систем: монография / О.В. Измеров [и др.]; под ред. академика Академии электротехн. наук Рос. Федерации, д–ра техн. наук, проф. А.С. Космодамианского. – Оrel: Госуниверситет – УНПК, 2015. – 234 с.
10. Буч, Гради. Объектно–ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений, 3–е изд: Пер. с англ. / Гради Буч, Роберт А. Максимчук, Майкл У. Энгл, Бобби Дж. Янг, Джим Коналлен, Келли А. Хьюстон // М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2008. – 720 с.
11. Koller R. Konstruktionsmethode fur den Mashinen–, Gerate– und Apparatebau: монография / R. Koller // Springer, Verlag, 1976 – 191p.

12. Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Band 1: Konstruktionslehre: монография / K. Roth // 3. Aufl. Springer, Berlin 2000 – 440p.
13. Antipin D. Ya. Application of the object model in the modelling process of locomotive drive units / D. Ya. Antipin, V.I. Vorobiev, S.O. Kopylov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 450 (2018).
14. Повышение надежности экипажной части тепловозов: монография. / А.И. Беляев, Б.Б. Бунин, С.М. Голубятников и др. Под ред. Л.К. Добрынина. // М., Транспорт, 1984 – 248 с.
15. Авторское свидетельство СССР №1759693. Узел подвешивания тягового электродвигателя/ В.С. Коссов, Ю.Н. Соколов, В.С. Авраменко, В.М. Суровцев, С.П. Авдеев, Б.И. Годунов и В.П. Колесников – опубл. 07.09.92, Б.И. №33.
16. Синтез новых решений приводов транспортных систем в интеллектуальных САПР: монография. / Воробьев В.И., Дорофеев О.В., Измеров О.В., Борзенков М.И., Космодамианский А.С., Злобин С.И., Пугачев А.А., Копылов С.О., Корчагин В.О.; под ред. академика Академии электротехн. наук Рос. Федерации, д-ра техн. наук, проф. А.С. Космодамианского. – Орел, ОГУ имени И.С. Тургенева, 2017 – 304 с.
17. Узел подвешивания тягового электродвигателя / Пугачев А.А., Волохов С.Г., Измеров О.В., Воробьев В.И., Михальченко Г.С., Новиков В.Г. Патент на изобретение № 2549427, Российская Федерация, МПК В61С 9/50. Опубл. 27.04.2015, бюл. № 12.
18. Патент на полезную модель № 176428, Российская Федерация, МПК В61С 9/38. Узел подвешивания тягового электродвигателя. / Новиков В.Г., Воробьев В.И., Измеров О.В., Тихомиров В.П. Опубл. 18.01.2018, бюл. № 2.
19. Патент на полезную модель № 176843, Российская Федерация, МПК В61С 9/38. Узел подвешивания тягового электродвигателя. / Антипин Д.Я., Воробьев В.И., Измеров О.В., Копылов С.О., Маслов М.А., Шорохов С.Г. Опубл. 30.01.2018, бюл. № 4.

Антипин Дмитрий Яковлевич
Брянский государственный
технический университет, г.
Брянск
Кандидат технических наук,
доцент, директор УНИТ
E-mail: adya24@rambler.ru

Борзенков Михаил Иванович
ОГУ имени И.С. Тургенева, г.
Орел
Кандидат технических наук,
доцент, начальник отдела научных
изданий
E-mail: bim5155@yandex.ru

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

Дорофеев Олег Васильевич
ОГУ имени И.С. Тургенева, г. Орел
Кандидат технических наук,
доцент кафедры машиностроения
E-mail: olegdor57@gmail.com

Злобин Сергей Николаевич
ОГУ 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

Самотканов Александр Васильевич
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Тяговый подвижной состав»

D.Ya. ANTIPIN, M.I. BORZENKOV, V.I. VOROBYEV, O.V. DOROFEYEV,
S.N. ZLOBIN, O.V. IZMEROV, A.V. SAMOTKANOV

THE OBJECT MODEL TECHNICAL SOLUTIONS FOR THE DESIGN OF TRACTION DRIVE OF A WHEEL–MOTOR UNIT

Abstract. The problem of selecting the object model of technical solutions of the mechanical part of the locomotive traction drive is considered. The model is proposed in the form of a hierarchy of sets of descriptions with different degrees of its schematization and a library of description of typical objects in the form of a hierarchical structure of functional interaction between elements, allowing you to implement automatic hints in the form of typical designs from the description library, found using matrices of similarity measures. Application of the proposed object model made it possible to obtain new patentable suspension solutions for traction drive.

Keywords: mathematical modeling, object model, traction drive, automation of the design process.

BIBLIOGRAPHY

1. Sokolov, Yu.N. Povyshenie nadezhnosti uzlov tyagovogo privoda passazhirskix e'lektrovozov E`P1M i E`P10 / Yu.N. Sokolov, A.S. Ponomarev, V.E. Degtyarev // Lokomotiv-inform. – 2010. – № 6. – S. 4–11.
2. Vaxromeeva T.O. Snizhenie dinamicheskix nagruzok v tyagovy`x provodax e'lektrovozov s ramny`m podveshi-vaniem tyagovy`x dvigatelej i kardanny`mi muftami. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni k.t.n./ T.O. Vaxromeeva // MGUPS, Moskva, 2014 – 24 s.
3. Kornev A.M.. Modernizaciya sistem` podveshivaniya TE`D e'lektrovoza postoyannogo toka 2E`S6 / A.M. Kornev, D.V. Lipunov // E`kspluatacionnaya nadezhnost` lokomotivnogo parka i povyshenie e`ffektivnosti tyagi poezdov / Omskij gos. un-t putej soobshheniya. Omsk, 2016. C. 237–242.
4. Averchenkov V.I. Osnovy` matematicheskogo modelirovaniya texnicheskix sistem: ucheb. posobie / V.I. Averchenkov, V.P. Fedorov, M.L. Xejfecz // Bryansk, Izd-vo BGTU, 2004. – 271s.
5. Nikitin S.V. Modelirovanie novy`x texnicheskix reshenij lokomotivov: uchebnoe posobie / S.V. Niki-tin // Bryansk, BITM, 1988 – 84 s.
6. Zaporozhcev A.V. Modelirovanie texnicheskix sistem: stat`ya /A.V. Zaporozhcev // Fundamental`ny`e is-sledovaniya. – 2014. – № 8–6. – S. 1288–1294.
7. Izmerov O.V. Klassifikaciya kak instrument sinteza mexanicheskoy chasti tyagovy`x privodov zheleznodo-rozhnogo podvizhnogo sostava [Tekst] / O.V. Izmerov, G.S. Mixal`chenko // Mir transporta i texnologicheskix mashin. – Orel, GU–UNPK (Gosuniversitet–UNPK), 2012. – №4 (39). – S. 53–60.
8. Vorob`ev V.I. Obshhie principy` klassifikacii mexanicheskoy chasti tyagovy`x privodov lokomotivov [Tekst] + [E`lektronny`j resurs] / V.I. Vorob`ev, O.V. Izmerov, A.A. Pugachev, D.A. Bondarenko // Sovershen–stvovanie e`nergeticheskix mashin: sb. nauch. tr. / pod red. V.V. Rogalyova. – Bryansk: BGTU, 2015., S. 241–248.
9. Izmerov O.V. Kiberneticheskie aspekty` metodov sinteza e`lektromexanicheskix sistem: monografiya / O.V. Izmerov [i dr.]; pod red. akademika Akademii e`lektrotekn. nauk Ros. Federacii, d–ra texn. nauk, prof. A.S. Kosmodamianskogo. – Orel: Gosuniversitet – UNPK, 2015. – 234 s.
10. Buch, Gradi. Ob`ektno–orientirovanny`j analiz i proektirovanie s primerami prilozhenij, 3–e izd: Per. s angl. / Gradi Buch, Robert A. Maksimchuk, Majkl U. E`ngl, Bobbi Dzh. Yang, Dzhim Konallen, Kelli A. X`yuston // M.: OOO «I.D. Vil`yams», 2008. – 720 s.
11. Koller R. Konstruktionsmethode fur den Maschinen–, Gerate– und Apparatebau: monografiya / R. Koller // Springer, Verlag, 1976 – 191p.
12. Roth,K.:Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Band 1: Konstruktionslehre: monografiya / K.Roth // 3.Aufl. Springer, Berlin 2000 – 440p.
13. Antipin D. Ya. Application of the object model in the modelling process of locomotive drive units / D. Ya. Antipin, V.I. Vorobiev, S.O. Kopylov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 450 (2018).
14. Povyshenie nadezhnosti ehkipazhnoj chasti teplovozov: monografiya. [Tekst] / A.I. Belyaev, B.B. Bunin, S.M. Golubyatnikov i dr. Pod red. L.K. Dobrynina. // M., Transport, 1984 – 248 s.
15. Avtorskoe svidetelstvo SSSR №1759693. Uzel podveshivaniya tyagovogo ehlektrodvigatelya/ V.S. Kossov, YU.N. Sokolov, V.S. Avramenko, V.M. Surovcev, S.P. Avdeev, B.I. Godunov i V.P. Kolesnikov – opubl. 07.09.92, B.I.№33.
16. Sintez novykh reshenij privodov transportnykh sistem v intellektualnykh SAPR: monografiya. / Vorobev V.I., Dorofeev O.V., Izmerov O.V., Borzenkov M.I., Kosmodamianskij A.S., Zlobin S.I., Pugachev A.A., Kopylov S.O., Korchagin V.O.; pod red. akademika Akademii ehlektrotekhn. nauk Ros. Federacii, d–ra tekhn. nauk, prof. A.S. Kosmodamianskogo. – Orel, OGU imeni I.S. Turgeneva, 2017 – 304 s.
17. Uzel podveshivaniya tyagovogo ehlektrodvigatelya [Tekst] / Pugachev A.A., Volohov S.G., Izmerov O.V., Vorobev V.I., Mihalchenko G.S., Novikov V.G. Patent na izobretenie № 2549427, Rossijskaya Federaciya, MPK V61S 9/50. Opubl. 27.04.2015, byul. № 12.
18. Patent na poleznuyu model № 176428, Rossijskaya Federaciya, MPK V61S 9/38. Uzel podveshivaniya tyagovogo ehlektrodvigatelya. / Novikov V.G., Vorobev V.I., Izmerov O.V., Tihomirov V.P. Opubl. 18.01.2018, byul. № 2.
19. Patent na poleznuyu model № 176843, Rossijskaya Federaciya, MPK V61S 9/38. Uzel podveshivaniya tyagovogo ehlektrodvigatelya. / Antipin D.YA., Vorobev V.I., Izmerov O.V., Kopylov S.O., Maslov M.A., SHorohov S.G. Opubl. 30.01.2018, byul. № 4.

Antipin Dmitriy Yakovlevich

Bryansk State Technical University,
Bryansk
Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor, Director of
UNIT
E–mail: adya24@rambler.ru

Borzenkov Mikhail Ivanovich

Orel State university, Orel
Candidate of technical sciences,
Associate Professor, head of the
department of scientific publications
E–mail: bim5155@yandex.ru

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

Dorofeev Oleg Vasilevich

Orel State university, Orel
Candidate of technical sciences,
Associate Professor at the
Department of «Mechanical
engineering»

Zlobin Sergey Nikolaevich

Orel State university, Orel
Candidate of technical sciences,
Associate Professor at the
Department of «Mechanical
engineering»

Izmerov Oleg Vasilevich

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

E-mail: olegdor57@gmail.com

E-mail: zsn2@rambler.ru

Samotkanov Aleksandr Vasilevich

Russian University of Transport (MIIT), Moscow

Candidate of technical sciences, Associate Professor at the Department of «Traction rolling stock »

ПРИБОРЫ, БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 612.135+681.784.8

Ю.И. ЛОКТИОНОВА, Е.В. ЖАРКИХ, А.И. ЖЕРЕБЦОВА, И.О. КОЗЛОВ,
Е.А. ЖЕРЕБЦОВ, Г.И. МАСАЛЫГИНА, А.В. ДУНАЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗРАСТНЫХ И ПАТОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПАРАМЕТРОВ МИКРОГЕМОДИНАМИКИ В НОРМЕ И ПРИ САХАРНОМ ДИАБЕТЕ 2 ТИПА С ПОМОЩЬЮ НОСИМЫХ ЛАЗЕРНЫХ ДОППЛЕРОВСКИХ ФЛОУМЕТРОВ

Аннотация. Лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) использовалась для выявления возрастных и патологических изменений микроциркуляторного русла. В исследовании приняли участие две группы здоровых добровольцев разного возраста и группа пациентов с сахарным диабетом 2 типа (СД). Сигнал ЛДФ был одновременно записан с подушечек 3-их пальцев и запястий обеих рук. Для анализа данных использовались средний уровень перфузии, амплитуды колебаний кровотока и вейвлет-когерентность сигналов. Результаты исследований показали, что средняя перфузия различается между здоровыми добровольцами разных возрастных групп, здоровыми добровольцами младшей возрастной группы и пациентами с сахарным диабетом. Установлено статистически значимое различие в синхронизации миогенных колебаний правой и левой рук между двумя исследуемыми возрастными группами. Миогенные колебания кровотока в младшей группе имели более высокий параметр вейвлет-когерентности по сравнению со старшей группой. Выявленные возрастные различия в перфузии крови могут быть использованы в дальнейшем при проектировании экспериментальных исследований системы микроциркуляции крови у больных с различными видами патологий.

Ключевые слова: лазерная доплеровская флоуметрия, микроциркуляция, колебания кровотока, вейвлет-когерентность, старение, сахарный диабет, носимый датчик перфузии крови.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук № МК-3400.2018.8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Johnson, J.M. Cutaneous vasodilator and vasoconstrictor mechanisms in temperature regulation / J.M. Johnson, C.T. Minson, D.L.Jr. Kellogg // Comprehensive Physiology. – 2014. – Vol. 4. – № 1. – P. 33–89.
2. Lancaster, G. Dynamic markers based on blood perfusion fluctuations for selecting skin melanocytic lesions for biopsy / G. Lancaster, A. Stefanovska, M. Pesce, G. Marco Vezzoni, B. Loggini, R. Pingitore, F. Ghiara, P. Barachini, G. Cervadoro, M. Romanelli, M. Rossi // Scientific Reports. – 2015. – № 5. – 12825.
3. Крупаткин, А.И. Лазерная доплеровская флоуметрия / А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров // М.: Медицина, 2005. – 256 с.
4. IDF, “Diabetes atlas. 8th edition.” <http://www.diabetesatlas.org> (2017).
5. Dremin, V.V. The blood perfusion and NADH/FAD content combined analysis in patients with diabetes foot / V.V. Dremin, V.V. Sidorov, A.I. Krupatkin, G.R. Galstyan, I.N. Novikova, A.I. Zhrebtsova, E.A. Zhrebtsov, A.V. Dunaev, Z.N. Abdulvapova, K.S. Litvinova, I.E. Rafailov, S.G. Sokolovski, E.U. Rafailov // Proc. SPIE 9698. – 2016. – 969810.
6. Филина, М.А. Функциональные изменения микроциркуляции крови в коже стопы при тепловых пробах у пациентов с сахарным диабетом / М.А. Филина, Е.В. Потапова, И.Н. Маковик, Е.В. Жарких, В.В. Дрёмин, Е.А. Жеребцов, А.В. Дунаев, В.В. Сидоров, А.И. Крупаткин, Е.А. Алимичева, Г.И. Масалыгина, В.Ф. Мурадян // Физиология человека. – 2017. – № 6. – С. 95–102.
7. Mizeva, I. Spectral analysis of the blood flow in the foot microvascular bed during thermal testing in patients with diabetes mellitus / I. Mizeva, E. Zharkikh, V. Dremin, E. Zhrebtsov, I. Makovik, E. Potapova, A. Dunaev // Microvascular Research. – 2018. – Vol. 120. – P. 13–20.
8. Daly, S.M. Go with the flow: A review of methods and advancements in blood flow imaging / S.M. Daly, M.J. Leahy // Journal of Biophotonics – 2013. Vol. 6 – № 3. – P. 217–255.
9. Volkov, M.V. Evaluation of blood microcirculation parameters by combined use of laser Doppler flowmetry and videocapillaroscopy methods / M.V. Volkov, D.A. Kostrova, N.B. Margaryants, I.P. Gurov, N.P. Erofeev, V.V. Dremin, E.V. Zharkikh, E.A. Zhrebtsov, I.O. Kozlov, A.V. Dunaev // Proc. SPIE 10336. – 2017. – 1033607.

10. Дрёмин, В.В. Возможности лазерной доплеровской флоуметрии в оценке состояния микрогемолимфоциркуляции / В.В. Дрёмин, И.О. Козлов, Е.А. Жеребцов, И.Н. Маковик, А.В. Дунаев, В.В. Сидоров, А.И. Крупаткин // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2017. – № 4. – С. 42–49.
11. Потапова, Е.В. Оценка микроциркуляторных нарушений у пациентов ревматологического профиля с использованием метода спектроскопии диффузного отражения / Е.В. Потапова, В.В. Дрёмин, Е.А. Жеребцов, И.Н. Маковик, А.И. Жеребцова, А.В. Дунаев, К.В. Подмастерьев, В.В. Сидоров, А.И. Крупаткин, Л.С. Хахичева, В.Ф. Мурадян // Физиология человека. – 2017. – № 2. – С. 116–124.
12. Zharebtsov, E. Novel wearable VCSEL-based blood perfusion sensor / E. Zharebtsov, S. Sokolovski, V. Sidorov, I. Rafailov, A. Dunaev, E. Rafailov // 2018 International Conference Laser Optics (ICLO). – 2018. – P. 564–564.
13. Urbancic–Rovan, V. Skin blood flow in the upper and lower extremities of diabetic patients with and without autonomic neuropathy / V. Urbancic–Rovan, A. Stefanovska, A. Bernjak, K. Azman–Juvan, A. Kocijancic // Journal of Vascular Research. – 2004. – Vol. 41. – № 6. – P. 535–545.
14. Aalkjær, C. Vasomotion – what is currently thought? / C. Aalkjær, D. Boedtkjer, V. Matchkov // Acta Physiologica. – 2011. – Vol. 202. – № 3. – P. 253–269.
15. Tankanag, A.V. Wavelet phase coherence analysis of the skin blood flow oscillations in human / A.V. Tankanag, A.A. Grinevich, T.V. Kirilina, G.V. Krasnikov, G.M. Piskunova, N.K. Chemeris // Microvascular Research. – 2014. – Vol. 95. – P. 53–59.
16. Li, L. Age-related changes of the cutaneous microcirculation in vivo / L. Li, S. Mac–Mary, J.–M. Sainthillier, S. Nouveau, O. de Lacharriere, P. Humbert // Gerontology. – 2006. – Vol. 52. – P. 142–153.
17. Schramm, J. Microvascular changes in the diabetic foot / J. Schramm, T. Dinh, A. Veves // International Journal of Lower Extremity Wounds. – 2006. – Vol. 5. – № 3. – 149159.

Локтионова Юлия Игоревна
ОГУ имени И.С. Тургенева
Студент кафедры
приборостроения, метрологии
и сертификации
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел.: +7 (4862) 41–98–37
E–mail: julya-loktionova@mail.ru

Жарких Елена Валерьевна
ОГУ имени И.С. Тургенева
Аспирант 1–го года обучения,
стажер–исследователь
научно–технологического центра
биомедицинской фотоники
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел.: +7 (4862) 41–98–37
E–mail: ev.zharkikh@gmail.com

Жеребцова Ангелина Ивановна
ОГУ имени И.С. Тургенева
Кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
научно–технологического центра
биомедицинской фотоники
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел.: +7 (4862) 41–98–37
E–mail: angelina.zharebtsova@yandex.ru

Козлов Игорь Олегович
ОГУ имени И.С. Тургенева
Аспирант 3–го года обучения,
стажер–исследователь
научно–технологического центра
биомедицинской фотоники
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел.: +7 (4862) 41–98–37
E–mail: igor57_orel@mail.ru

Жеребцов Евгений Андреевич
ОГУ имени И.С. Тургенева
Кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
научно–технологического центра
биомедицинской фотоники
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел.: +7 (4862) 41–98–37
E–mail: zharebzow@gmail.com

Масалыгина Галина Ивановна
БУЗ Орловской области
«Орловская областная
клиническая больница»
Врач высшей категории
эндокринологического отделения
302028, г. Орел, Бульвар Победы, 10
Тел.: +7 (4862) 45–36–24
E–mail: kovalina68@ya.ru

Дунаев Андрей Валерьевич
ОГУ имени И.С. Тургенева
Кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник
научно–технологического центра
биомедицинской фотоники
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел.: +7 (4862) 41–98–37
E–mail: dunaev@bmecenter.ru

STUDY OF AGE-RELATED AND PATHOLOGICAL FEATURES OF MICROHEMODYNAMICS IN HEALTHY VOLUNTEERS AND PATIENTS WITH TYPE 2 DIABETES MELLITUS BY WEARABLE LASER DOPPLER FLOWMETRY DEVICES

Abstract. *Laser Doppler flowmetry (LDF) was used to detect age-related and pathological changes in the microcirculation. The study involved two groups of healthy volunteers of different ages and a group of patients with type 2 diabetes mellitus (DM). The LDF signal was simultaneously recorded from the pads of 3rd fingers of both hands and wrists. To analyze the data, we used the average level of perfusion, amplitude of blood flow oscillations and wavelet coherence of signals. The results showed that average perfusion varies between healthy volunteers of different age groups, healthy volunteers of younger age group and patients with diabetes mellitus. A statistically significant difference in the synchronization of myogenic oscillations of the right and left hands between the two studied age groups was established. Myogenic fluctuations of blood perfusion in the younger group had a higher parameter of wavelet coherence in comparison with the older group. The revealed age differences in blood perfusion can be used in the future in the design of experimental studies of the blood microcirculation system in patients with different types of pathologies.*

Keywords: *Laser Doppler flowmetry, microcirculation, blood flow oscillations, wavelet coherence, ageing, diabetes mellitus, wearable blood perfusion sensor.*

BIBLIOGRAPHY

1. Johnson, J.M. Cutaneous vasodilator and vasoconstrictor mechanisms in temperature regulation / J.M. Johnson, C.T. Minson, D.L.Jr. Kellogg // *Comprehensive Physiology*. – 2014. – Vol. 4. – № 1. – P. 33–89.
2. Lancaster, G. Dynamic markers based on blood perfusion fluctuations for selecting skin melanocytic lesions for biopsy / G. Lancaster, A. Stefanovska, M. Pesce, G. Marco Vezzoni, B. Loggini, R. Pingitore, F. Ghiara, P. Barachini, G. Cervadoro, M. Romanelli, M. Rossi // *Scientific Reports*. – 2015. – № 5. – 12825.
3. Крупаткин, А.И. Лазерная доплеровская флоуметрия / А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров // *М.: Медицина*, 2005. – 256 с.
4. IDF, “Diabetes atlas. 8th edition.” <http://www.diabetesatlas.org> (2017).
5. Dremin, V.V. The blood perfusion and NADH/FAD content combined analysis in patients with diabetes foot / V.V. Dremin, V.V. Sidorov, A.I. Krupatkin, G.R. Galstyan, I.N. Novikova, A.I. Zherebtsova, E.A. Zherebtsov, A.V. Dunaev, Z.N. Abdulvapova, K.S. Litvinova, I.E. Rafailov, S.G. Sokolovski, E.U. Rafailov // *Proc. SPIE 9698*. – 2016. – 969810.
6. Филина, М.А. Функциональные изменения микроциркуляции крови в коже стопы при тепловых пробах у пациентов с сахарным диабетом / М.А. Филина, Е.В. Потапова, И.Н. Маковик, Е.В. Жарких, В.В. Дрёмин, Е.А. Жеребцов, А.В. Дунаев, В.В. Сидоров, А.И. Крупаткин, Е.А. Алимичева, Г.И. Масалыгина, В.Ф. Мурадян // *Физиология человека*. – 2017. – № 6. – С. 95–102.
7. Mizeva, I. Spectral analysis of the blood flow in the foot microvascular bed during thermal testing in patients with diabetes mellitus / I. Mizeva, E. Zharkikh, V. Dremin, E. Zherebtsov, I. Makovik, E. Potapova, A. Dunaev // *Microvascular Research*. – 2018. – Vol. 120. – P. 13–20.
8. Daly, S.M. Go with the flow: A review of methods and advancements in blood flow imaging / S.M. Daly, M.J. Leahy // *Journal of Biophotonics* – 2013. Vol. 6 – № 3. – P. 217–255.
9. Volkov, M.V. Evaluation of blood microcirculation parameters by combined use of laser Doppler flowmetry and videocapillaroscopy methods / M.V. Volkov, D.A. Kostrova, N.B. Margaryants, I.P. Gurov, N.P. Erofeev, V.V. Dremin, E.V. Zharkikh, E.A. Zherebtsov, I.O. Kozlov, A.V. Dunaev // *Proc. SPIE 10336*. – 2017. – 1033607.
10. Дрёмин, В.В. Возможности лазерной доплеровской флоуметрии в оценке состояния микрогемолимфоциркуляции / В.В. Дрёмин, И.О. Козлов, Е.А. Жеребцов, И.Н. Маковик, А.В. Дунаев, В.В. Сидоров, А.И. Крупаткин // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. – 2017. – № 4. – С. 42–49.
11. Потапова, Е.В. Оценка микроциркуляторных нарушений у пациентов ревматологического профиля с использованием метода спектроскопии диффузного отражения / Е.В. Потапова, В.В. Дрёмин, Е.А. Жеребцов, И.Н. Маковик, А.И. Жеребцова, А.В. Дунаев, К.В. Подмастерьев, В.В. Сидоров, А.И. Крупаткин, Л.С. Хахичева, В.Ф. Мурадян // *Физиология человека*. – 2017. – № 2. – С. 116–124.
12. Zherebtsov, E. Novel wearable VCSEL-based blood perfusion sensor / E. Zherebtsov, S. Sokolovski, V. Sidorov, I. Rafailov, A. Dunaev, E. Rafailov // *2018 International Conference Laser Optics (ICLO)*. – 2018. – P. 564–564.
13. Urbancic-Rovan, V. Skin blood flow in the upper and lower extremities of diabetic patients with and without autonomic neuropathy / V. Urbancic-Rovan, A. Stefanovska, A. Bernjak, K. Azman-Juvan, A. Kocijancic // *Journal of Vascular Research*. – 2004. – Vol. 41. – № 6. – P. 535–545.

14. Aalkjær, C. Vasomotion – what is currently thought? / C. Aalkjær, D. Boedtkjer, V. Matchkov // Acta Physiologica. – 2011. – Vol. 202. – № 3. – P. 253–269.
15. Tankanag, A.V. Wavelet phase coherence analysis of the skin blood flow oscillations in human / A.V. Tankanag, A.A. Grinevich, T.V. Kirilina, G.V. Krasnikov, G.M. Piskunova, N.K. Chemeris // Microvascular Research. – 2014. – Vol. 95. – P. 53–59.
16. Li, L. Age-related changes of the cutaneous microcirculation in vivo / L. Li, S. Mac-Mary, J.-M. Sainthillier, S. Nouveau, O. de Lacharriere, P. Humbert // Gerontology. – 2006. – Vol. 52. – P. 142–153.
17. Schramm, J. Microvascular changes in the diabetic foot / J. Schramm, T. Dinh, A. Veves // International Journal of Lower Extremity Wounds. – 2006. – Vol. 5. – № 3. – 149159.

Loktionova Yulia Igorevna

Orel State University
named after I.S. Turgenev
Student of the Instrument
Engineering, Metrology
and Certification Department
302026, Orel, 95 Komsomolskaya St.
Tel.: +7 (4862) 41–98–37
E-mail: julya-loktionova@mail.ru

Zharkikh Elena Valerevna

Orel State University
named after I.S. Turgenev
Post-graduate student of 1st year
of study, Trainee–researcher
of the Research and Development
Center of Biomedical Photonics
302026, Orel, 95 Komsomolskaya St.
Tel.: +7 (4862) 41–98–37
E-mail: ev.zharkikh@gmail.com

Zherebtsova Angelina Ivanovna

Orel State University
named after I.S. Turgenev
Candidate of Technical Sciences,
Senior Research Fellow
of the Research and Development
Center of Biomedical Photonics
302026, Orel, 95 Komsomolskaya St.
Tel.: +7 (4862) 41–98–37
E-mail: angelina.zherebtsova@yandex.ru

Kozlov Igor Olegovich

Orel State University
named after I.S. Turgenev
Post-graduate student of 3rd year
of study, Trainee–researcher
of the Research and Development
Center of Biomedical Photonics
302026, Orel, 95 Komsomolskaya St.
Tel.: +7 (4862) 41–98–37
E-mail: igor57_orel@mail.ru

Zherebtsov Evgeny Andreevich

Orel State University
named after I.S. Turgenev
Candidate of Technical Sciences,
Senior Research Fellow
of the Research and Development
Center of Biomedical Photonics
302026, Orel, 95 Komsomolskaya St.
Tel.: +7 (4862) 41–98–37
E-mail: zherebzow@gmail.com

Masalygina Galina Ivanovna

Budgetary institution
of health care of the Orel region
“Orel regional clinical hospital”
Doctor of the highest category
of Endocrinology Department
302028, Orel, 10 Bulvar Pobedy
Tel.: +7 (4862) 45–36–24
E-mail: kovalina68@ya.ru

Dunaev Andrey Valerevich

Orel State University
named after I.S. Turgenev
Candidate of Technical Sciences,
Leading researcher
of the Research and Development
Center of Biomedical Photonics
302026, Orel, 95 Komsomolskaya St.
Tel.: +7 (4862) 41–98–37
E-mail: dunaev@bmecenter.ru

УДК 535.372+616–006.6

**В.В. ШУПЛЕЦОВ, К.Ю. КАНДУРОВА, Е.С. СЕРЁГИНА, Е.В. ПОТАПОВА,
В.В. ДРЁМИН, А.В. МАМОШИН, К.В. ПОДМАСТЕРЬЕВ, А.В. ДУНАЕВ**

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ОПУХОЛЕВОЙ ТКАНИ

Аннотация. Для задач онкологии представляется актуальным поиск дополнительных методов, обеспечивающих получение информации о наличии клеток опухоли в крае резекции органа в режиме реального времени при проведении хирургических вмешательств. В данной работе описана экспериментальная установка, реализующая один из перспективных методов современной оптической диагностики – флуоресцентную визуализацию с возможностью использования в условиях хирургической операции. Представлены результаты экспериментальных исследований с использованием данной установки для получения флуоресцентных изображений внутренних органов лабораторных животных, при моделировании злокачественной опухоли

печени. Сделаны выводы о возможности применения разработанной системы флуоресцентной визуализации для определения наличия опухолевых клеток на границе резекции органа.

Ключевые слова: оптическая биопсия, флуоресцентная визуализация, гепатоцеллюлярная карцинома.

Данная работа поддержана грантом РФФИ (проект № 18-02-00669).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The Cancer Atlas, 3rd edition // International Agency for Research on Cancer; 2019. – Режим доступа: <https://canceratlas.cancer.org/>.
2. Патютко, Ю.И. Обеспечение радикальности операций при злокачественных опухолях печени / Ю.И. Патютко, Д.В. Подлужный, Н.Е. Кудашкин, А.Н. Поляков, Е.В. Глухов, О.Н. Соловьева, З.А. Дудаев // *Анналы хирургической гепатологии*. – 2019. – 23(4). – С. 118–125.
3. Патютко, Ю.И. Эволюция хирургии рака головки поджелудочной железы и периампулярной зоны / Ю.И. Патютко, А.Г. Котельников, А.Н. Поляков, Д.В. Подлужный // *Анналы хирургической гепатологии*. – 2019. – 23(4). – С. 45–53.
4. Alfano R. Optical biopsy for cancer detection / R. Alfano, Y. Pu // *Lasers for Medical Applications*. – Woodhead Publishing, 2013. – P. 325–367.
5. Кандурова, К.Ю. Методы оптической биопсии и их перспективы применения для интраоперационного анализа тканевого метаболизма и микроциркуляции крови в мини-инвазивной хирургии / К.Ю. Кандурова, В.В. Дрёмин, Е.А. Жеребцов, А.Л. Альянов, А.В. Мамошин, Е.В. Потапова, А.В. Дунаев, В.Ф. Мурадян, В.В. Сидоров, А.И. Крупаткин // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. – 2018. – 17(3). – С. 71–79.
6. Croce, A.C. Autofluorescence spectroscopy and imaging: A tool for biomedical research and diagnosis / A.C. Croce, G. Bottirollo // *Eur. J. Histochem.* – 2014. – 58(4). – P. 320–337.
7. Ramanujam N. Fluorescence spectroscopy in vivo / N. Ramanujam // *Encyclopedia of Analytical Chemistry: Applications, Theory and Instrumentation*. – Wiley Online Library, 2006. – P. 20–56.
8. Borisova, E. Multispectral autofluorescence detection of skin neoplasia using steady-state techniques / E. Borisova; A. Gisbrecht; T. Genova-Hristova; P. Troyanova; E. Pavlova; N. Penkov; I. Bratchenko; V. Zakharov; I. Lihachova; I. Kuzmina; J. Spigulis // 20th International Conference and School on Quantum Electronics: Laser Physics and Applications. – 2019. – 11047.
9. Khristoforova, Y.A. Portable spectroscopic system for in vivo skin neoplasms diagnostics by Raman and autofluorescence analysis / Y. Khristoforova, I. Bratchenko, D. Artemyev, O. Myakinin, S. Kozlov, A. Moryatov, V. Zakharov // *J. Biophotonics*. – 2019. – 12(4). – P. 186–192.
10. Alfano, R. Fluorescence spectra from cancerous and normal human breast and lung tissues / R. Alfano, G. Tang, A. Pradhan, W. Lam, D. Choy, E. Opher // *IEEE J. Quantum Electron.* – 1987. – 23(10). – P. 1806–1811.
11. Kolli, V.R. et al. Native cellular fluorescence can identify changes in epithelial thickness in-vivo in the upper aerodigestive tract / V.R. Kolli, A.R. Shaha, H.E. Savage, P.G. Sacks, M.A. Casale, S.P. Schantz // *Am. J. Surg.* – 1995. – 170(5). – P. 495–498.
12. Koenig, K. Laser-induced autofluorescence for medical diagnosis / K. Koenig, H. Schneckenburger // *J. Fluoresc.* – 1994. – 4(1). – P. 17–40.
13. Currie, E. Cellular fatty acid metabolism and cancer / E. Currie, A. Schulze, R. Zechner, T.C. Walther, R.V. Farese // *Cell Metab.* – 2013. – 18(2). – P. 153–161.
14. Tuchin, V.V. Handbook of Optical Biomedical Diagnostics, Second Edition, Volume 1: Light-Tissue Interaction. – SPIE Press, Bellingham, 2016. – 864 p.
15. Georgakoudi, I. Optical imaging using endogenous contrast to assess metabolic state / I. Georgakoudi, K.P. Quinn // *Annu. Rev. Biomed. Eng.* – 2012. – 14. – P. 351–367.
16. Lukina, M.M. Metabolic imaging in the study of oncological processes / M.M. Lukina, M.V. Shirmanova, T.F. Sergeeva, E.V. Zagaynova // *Современные технологии в медицине*. – 2016. – 8(4). – P. 113–124.
17. Chang, S.K. Model-based analysis of clinical fluorescence spectroscopy for in vivo detection of cervical intraepithelial dysplasia / S.K. Chang, N. Marin, M. Follen, R. Richards-Kortum // *J. Biomed. Opt.* – 2006. – 11(2). – 024008.
18. Pavlova, I. Microanatomical and Biochemical Origins of Normal and Precancerous Cervical Autofluorescence Using Laser scanning Fluorescence Confocal Microscopy / I. Pavlova, K. Sokolov, R. Drezek, A. Malpica, M. Follen, R. Richards-Kortum // *Photochem. Photobiol.* – 2003. – 77(5). – P. 550–555.
19. Moesta, K.T. Protoporphyrin IX occurs naturally in colorectal cancers and their metastases / K.T. Moesta, B. Ebert, T. Handke, D. Nolte, C. Nowak, W.E. Haensch, R.K. Pandey, T.J. Dougherty, H. Rinneberg, P.M. Schlag // *Cancer Res.* – 2001. – 61(3). – P. 991–999.
20. Croce, A.C. Naturally-occurring porphyrins in a spontaneous-tumour bearing mouse model / A.C. Croce, G. Santamaria, U. De Simone, F. Lucchini, I. Freitas, G. Bottirollo // *Photochem. Photobiol. Sci.* – 2011. – 10(7). – P. 1189–1195.
21. Council of the Organisation for Economic cooperation and Development. OECD Series on Principles of Good Laboratory Practice and Compliance Monitoring // OECD Environmental Health and Safety Publications. – Organisation for Economic Co-operation and Development, 1998. – Режим доступа: <http://www.oecd.org/chemicalsafety/testing/oecdseriesonprinciplesofgoodlaboratorypracticeglpandcompliancemonitoring.htm>
22. Lualdi, M. Early detection of colorectal adenocarcinoma: a clinical decision support tool based on plasma porphyrin accumulation and risk factors / M. Lualdi, A. Cavalleri, L. Battaglia, A. Colombo, G. Garrone, D. Morelli, E. Pignoli, E. Sottotetti, E. Leo // *BMC Cancer*. – 2018. – 18(1). – 841.

23. Kemmner, W. Silencing of human ferrochelatase causes abundant protoporphyrin–IX accumulation in colon cancer / W. Kemmner, K.Wan, S. Ruettinger, B. Ebert, R. Macdonald, U. Klamm, K.T. Moesta // The FASEB J. – 2008. – 22(2). – P. 500–509.

24. Sacha, M. Protoporphyrin IX: the good, the bad, and the ugly / M. Sacha M., K.E. Anderson, X. Ma // J. Pharmacol. Exp. Ther. – 2016. – 356(2). – P. 267–275.

Шуплецов Валерий Витальевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия
Магистр направления «Приборостроение», стажер–исследователь научно–технологического центра биомедицинской фотоники 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел.: +7–4862–41–98–37
E-mail: matoka_97@mail.ru

Кандурова Ксения Юрьевна
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия
Магистр направления «Биотехнические системы и технологии», стажер–исследователь научно–технологического центра биомедицинской фотоники 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел.: +7–4862–41–98–37
E-mail: kandksenija@gmail.com

Серегина Евгения Сергеевна
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия
Магистр направления «Биотехнические системы и технологии», стажер–исследователь научно–технологического центра биомедицинской фотоники 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел.: +7–4862–41–98–37
E-mail: e.s.seryogina@gmail.com

Потапова Елена Владимировна
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия
Кандидат технических наук, научный сотрудник научно–технологического центра биомедицинской фотоники 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел.: +7–4862–41–98–37
E-mail: potapova_ev_ogu@mail.ru

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

Мамошин Андриан Валерьевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия
Кандидат медицинских наук, доцент, врач–хирург Орловской областной клинической больницы; старший научный сотрудник научно–технологического центра биомедицинской фотоники 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел.: +7–4862–41–98–37
E-mail: dr.mamoshin@mail.ru

Подмастерьев Константин Валентинович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия
Доктор технических наук, профессор, директор Института приборостроения, автоматизации и информационных технологий 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел.: +7–4862–41–98–76
E-mail: asms-orel@mail.ru

Дунаев Андрей Валерьевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия
Кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно–технологического центра биомедицинской фотоники 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел.: +7–4862–41–98–06
E-mail: dunaev@bmecenter.ru

V.V. SHUPLETSOV, K.Y. KANDUROVA, E.S. SERYOGINA, E.V. POTAPOVA,
V.V. DREMIN, A.V. MAMOSHIN, K.V. PODMASTERYEV, A.V. DUNAIEV

DEVICE FOR FLUORESCENCE IMAGING OF TUMOR TISSUES

Abstract. *The search for additional methods that provide information about the tumor cells presence in the organs resection margin in real time during surgical interventions is relevant problem of oncology. The paper describes an experimental setup that implements one of the promising methods of modern optical diagnostics – fluorescence imaging with the possibility of application during the surgery. The results of experimental studies using developed setup to obtain fluorescence images of laboratory animals internal organs when modeling a malignant liver tumor are presented. In conclusion, the possibility of using the developed fluorescence imaging system to determine the presence of tumor cells in the organs resection margin are proposed.*

Keywords: optical biopsy, fluorescence imaging, hepatocellular carcinoma.

BIBLIOGRAPHY

1. The Cancer Atlas, 3rd edition // International Agency for Research on Cancer; 2019. – URL:

<https://canceratlas.cancer.org/>.

2. Patyutko, Y.I. Ensuring radical surgery for liver malignancies / Y.I. Patyutko, D.V. Podluzhny, N.E. Kudashkin, A.N. Polyakov, E.V. Gluhov, O.N. Solovieva, Z.A. Dudaev // *Annaly khirurgicheskoy gepatologii = Annals of HPB Surgery*. – 2019. – 23(4). – P. 118–125.
3. Patyutko, Y.I. Evolution of surgery for pancreatic head and periampullary cancer / Y.I. Patyutko, A.G. Kotelnikov, A.N. Polyakov, V.D. Podluzhnyi // *Annaly khirurgicheskoy gepatologii = Annals of HPB Surgery*. – 2019. – 23(4). – P. 45–53.
4. Alfano R. Optical biopsy for cancer detection / R. Alfano, Y. Pu // *Lasers for Medical Applications*. – Woodhead Publishing, 2013. – P. 325–367.
5. Kandurova, K.Y. Optical biopsy methods and their prospects of application for intraoperative analysis of tissue metabolism and blood microcirculation in minimally invasive surgery / K.Y. Kandurova, V.V. Dremine, E.A. Zherebtsov, A.L. Alyanov, A.V. Mamoshin, E.V. Potapova, A.V. Dunaev, V.F. Muradyan, V.V. Sidorov, A.I. Krupatkin // *Regional blood circulation and microcirculation*. – 2018. – 17(3). – P. 71–79.
6. Croce, A.C. Autofluorescence spectroscopy and imaging: A tool for biomedical research and diagnosis / A.C. Croce, G. Bottirolu // *Eur. J. Histochem.* – 2014. – 58(4). – P. 320–337.
7. Ramanujam N. Fluorescence spectroscopy in vivo / N. Ramanujam // *Encyclopedia of Analytical Chemistry: Applications, Theory and Instrumentation*. – Wiley Online Library, 2006. – P. 20–56.
8. Borisova, E. Multispectral autofluorescence detection of skin neoplasia using steady-state techniques / E. Borisova; A. Gisbrecht; T. Genova-Hristova; P. Troyanova; E. Pavlova; N. Penkov; I. Bratchenko; V. Zakharov; I. Lihachova; I. Kuzmina; J. Spigulis // *20th International Conference and School on Quantum Electronics: Laser Physics and Applications*. – 2019. – 11047.
9. Khristoforova, Y.A. Portable spectroscopic system for in vivo skin neoplasms diagnostics by Raman and autofluorescence analysis / Y. Khristoforova, I. Bratchenko, D. Artemyev, O. Myakinin, S. Kozlov, A. Moryatov, V. Zakharov // *J. Biophotonics*. – 2019. – 12(4). – P. 186–192.
10. Alfano, R. Fluorescence spectra from cancerous and normal human breast and lung tissues / R. Alfano, G. Tang, A. Pradhan, W. Lam, D. Choy, E. Opher // *IEEE J. Quantum Electron.* – 1987. – 23(10). – P. 1806–1811.
11. Kolli, V.R. et al. Native cellular fluorescence can identify changes in epithelial thickness in-vivo in the upper aerodigestive tract / V.R. Kolli, A.R. Shaha, H.E. Savage, P.G. Sacks, M.A. Casale, S.P. Schantz // *Am. J. Surg.* – 1995. – 170(5). – P. 495–498.
12. Koenig, K. Laser-induced autofluorescence for medical diagnosis / K. Koenig, H. Schneckenburger // *J. Fluoresc.* – 1994. – 4(1). – P. 17–40.
13. Currie, E. Cellular fatty acid metabolism and cancer / E. Currie, A. Schulze, R. Zechner, T.C. Walther, R.V. Farese // *Cell Metab.* – 2013. – 18(2). – P. 153–161.
14. Tuchin, V.V. *Handbook of Optical Biomedical Diagnostics, Second Edition, Volume 1: Light-Tissue Interaction*. – SPIE Press, Bellingham, 2016. – 864 p.
15. Georgakoudi, I. Optical imaging using endogenous contrast to assess metabolic state / I. Georgakoudi, K.P. Quinn // *Annu. Rev. Biomed. Eng.* – 2012. – 14. – P. 351–367.
16. Lukina, M.M. Metabolic imaging in the study of oncological processes / M.M. Lukina, M.V. Shirmanova, T.F. Sergeeva, E.V. Zagaynova // *Современные технологии в медицине*. – 2016. – 8(4). – P. 113–124.
17. Chang, S.K. Model-based analysis of clinical fluorescence spectroscopy for in vivo detection of cervical intraepithelial dysplasia / S.K. Chang, N. Marin, M. Follen, R. Richards-Kortum // *J. Biomed. Opt.* – 2006. – 11(2). – 024008.
18. Pavlova, I. Microanatomical and Biochemical Origins of Normal and Precancerous Cervical Autofluorescence Using Laser-scanning Fluorescence Confocal Microscopy / I. Pavlova, K. Sokolov, R. Drezek, A. Malpica, M. Follen, R. Richards-Kortum // *Photochem. Photobiol.* – 2003. – 77(5). – P. 550–555.
19. Moesta, K.T. Protoporphyrin IX occurs naturally in colorectal cancers and their metastases / K.T. Moesta, B. Ebert, T. Handke, D. Nolte, C. Nowak, W.E. Haensch, R.K. Pandey, T.J. Dougherty, H. Rinneberg, P.M. Schlag // *Cancer Res.* – 2001. – 61(3). – P. 991–999.
20. Croce, A.C. Naturally-occurring porphyrins in a spontaneous-tumour bearing mouse model / A.C. Croce, G. Santamaria, U. De Simone, F. Lucchini, I. Freitas, G. Bottirolu // *Photochem. Photobiol. Sci.* – 2011. – 10(7). – P. 1189–1195.
21. Council of the Organisation for Economic cooperation and Development. *OECD Series on Principles of Good Laboratory Practice and Compliance Monitoring* // *OECD Environmental Health and Safety Publications*. – Organisation for Economic Co-operation and Development, 1998. – Режим доступа: <http://www.oecd.org/chemicalsafety/testing/oecdseriesonprinciplesofgoodlaboratorypracticeglpandcompliancemonitoring.htm>
22. Lualdi, M. Early detection of colorectal adenocarcinoma: a clinical decision support tool based on plasma porphyrin accumulation and risk factors / M. Lualdi, A. Cavalleri, L. Battaglia, A. Colombo, G. Garrone, D. Morelli, E. Pignoli, E. Sottotetti, E. Leo // *BMC Cancer*. – 2018. – 18(1). – 841.
23. Kemmner, W. Silencing of human ferrochelatase causes abundant protoporphyrin-IX accumulation in colon cancer / W. Kemmner, K. Wan, S. Ruettinger, B. Ebert, R. Macdonald, U. Klamm, K.T. Moesta // *The FASEB J.* – 2008. – 22(2). – P. 500–509.
24. Sachar, M. Protoporphyrin IX: the good, the bad, and the ugly / M. Sachar M., K.E. Anderson, X. Ma // *J. Pharmacol. Exp. Ther.* – 2016. – 356(2). – P. 267–275.

Shupletsov Valery Vitalievich

Orel State University named after
I.S. Turgenev, Orel, Russia
Master of Instrumentation, research
assistant of Research and
Development Center of Biomedical
Photonics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse,
29
Ph.: +7-4862-41-98-37
E-mail: matoka_97@mail.ru

Potapova Elena Vladimirovna

Orel State University named after
I.S. Turgenev, Orel, Russia
Ph.D., researcher of Research and
Development Center of Biomedical
Photonics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse,
29
Ph.: +7-4862-41-98-37
E-mail: potapova_ev_ogu@mail.ru

**Podmasteryev Konstantin
Valentinovich**

Orel State University named after
I.S. Turgenev, Orel, Russia
Doctor of Technical Sciences,
professor, director of Institute of
Instrument Engineering, Automation
and Information Technologies
302020, Orel, Naugorskoe Shosse,
29
Ph.: +7-4862-41-98-76
E-mail: asms-orel@mail.ru

Kandurova Ksenia Yurievna

Orel State University named after
I.S. Turgenev, Orel, Russia
Master of Biotechnical Systems and
Technologies, research assistant of
Research and Development Center
of Biomedical Photonics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse,
29
Ph.: +7-4862-41-98-37
E-mail: kandkseniya@gmail.com

Dremin Viktor Vladimirovich

Orel State University named after
I.S. Turgenev, Orel, Russia
Ph.D., researcher of Research and
Development Center of Biomedical
Photonics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse,
29
Ph.: +7-4862-41-98-37
E-mail: dremin_viktor@mail.ru

Dunaev Andrey Valerievich

Orel State University named after
I.S. Turgenev, Orel, Russia
Ph.D., leading researcher of
Research and Development Center
of Biomedical Photonics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse,
29
Ph.: +7-4862-41-98-06
E-mail: dunaev@bmecenter.ru

Seryogina Evgenia Sergeevna

Orel State University named after
I.S. Turgenev, Orel, Russia
Master of I Biotechnical Systems
and Technologies, research assistant
of Research and Development
Center of Biomedical Photonics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse,
29
Ph.: +7-4862-41-98-37
E-mail: e.s.seryogina@gmail.com

Mamoshin Andrian Valerievich

Orel State University named after
I.S. Turgenev, Orel, Russia
M. D., associate professor, surgeon,
Orel Regional Clinical Hospital,
Senior Researcher of Research and
Development Center of Biomedical
Photonics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse,
29
Ph.: +7-4862-41-98-37
E-mail: dr.mamoshin@mail.ru

КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА, ИСПЫТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК 621.3

Л.О. САВИН

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КРИТИЧЕСКИХ СЕЧЕНИЙ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация. В работе обоснована возможность применения метода критических сечений для вероятностного прогнозирования оптимальной периодичности контроля и технического обслуживания изделий. Произведен краткий анализ основных методов прогнозирования в зависимости от применяемого при их использовании математического аппарата. Показано, что для решения задачи прогнозирования момент достижения контролируемыми параметрами изделий своих предельно допустимых значений может быть использован подход, основанный на использовании квазидетерминированных моделей случайного процесса временного дрейфа параметров изделий.

В статье приведены типовые примеры расчета аналитических зависимостей для плотности распределения времени достижения контролируемыми параметрами изделия своих предельных значений при помощи вероятностных методов прогнозирования. Предлагаемый в работе подход позволяет существенно повысить точность определения оптимальной периодичности технического обслуживания и определять вероятность безотказной работы изделий на заданном интервале времени (интервале прогнозирования) в тех случаях, когда применение иных методов прогнозирования в силу вычислительных сложностей оказывается затруднительным.

Ключевые слова: периодичность технического обслуживания, прогнозирование, критические сечения случайного процесса, плотность распределения случайной величины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анилович, В.Я. Надежность машин в задачах и примерах (учеб. пособие) / В.Я. Анилович, А.С. Григоренко, В.Л. Литвиненко. – Харьков: ОКО, 2001. – 318с.
2. Калявин, В.П. Основы теории надежности и диагностики / В.П. Калявин. – СПб.: Элмор, 1998. – 172 с.
3. Волков, Ю.В. Системы технического диагностирования, автоматического управления и защиты (учеб. пособие. Часть1) / Ю.В. Волков. – СПб.: СПбГУПТД, 2016. – 115 с.
4. Половко, А.М. Основы теории надежности / А.М. Половко, С.В. Гуров. – СПб.: БХВ–Петербург, 2003. – 704 с.
5. Савин, Л.О. Разработка прогнозных моделей временного дрейфа определяющих параметров АТ при её эксплуатации в особых условиях / Л.О. Савин, М.В. Королёв, М.В. Носов // Информационно–управляющие системы – 2017. – № 3 (88). – С. 58 – 66.
6. Ситчихина, М. В. Разработка моделей и программных средств прогнозирования остаточного ресурса оборудования: дис.... канд. техн. наук: 05.13.01 / Ситчихина Мария Владимировна. – Иркутск. – 2003. – 130 с.
7. Савин, Л.О. Анализ определяющих параметров и возможностей использования гибких стратегий технического обслуживания для повышения надежности автомобильной техники при ее эксплуатации в особых условиях / Л.О. Савин, М.В. Королев, М.В. Носов // Научный результат. Серия: Информационные технологии. – 2017. – Т. 2. № 2. – С. 9–20.
8. Гаскаров, Д.В. Малая выборка / Д.В. Гаскаров, В.И. Шаповалов. – М.: Статистика, 1978. – 248 с.
9. Баженов, Ю. В. Прогнозирование остаточного ресурса конструктивных элементов автомобилей в условиях эксплуатации / Ю.В. Баженов, М.Ю. Баженов// Фундаментальные исследования.– 2015. – № 4. – С. 16 – 21.
10. Программа для определения оптимальной периодичности технического обслуживания изделий: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018615112 Российская Федерация / Савин Л.О [и др.]. – № 2018612324; заявл. 07.03.2018; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 26.04.2018.

Савин Леонид Олегович

ФГАОУ ВО «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации»

сотрудник

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

Тел. 8(4862)54–95–23

e-mail: leonidys77@yandex.ru

L.O. SAVIN

APPLICATION OF THE CRITICAL SECTION METHOD FOR FORECASTING PRODUCT RELIABILITY

Abstract. *The paper substantiates the possibility of using the critical section method for probabilistic forecasting of the optimal frequency of control and maintenance of products. A brief analysis of the main forecasting methods was performed depending on the mathematical apparatus used in their use. It is shown that for solving the problem of forecasting the moment when the controlled parameters of products reach their maximum permissible values, an approach based on the use of quasideterministic models of a random process of temporal drift of product parameters can be used.*

The article presents typical examples of calculating analytical dependencies for the density of the distribution of time when controlled parameters of a product reach their limiting values using probabilistic forecasting methods. The proposed approach allows to significantly improve the accuracy of determining the optimal frequency of maintenance and to determine the probability of trouble-free operation of products at a given time interval (forecast interval) in cases where the use of other prediction methods is difficult due to computational difficulties.

Keywords: *maintenance frequency, forecasting, critical sections of a random process, distribution density of a random variable.*

BIBLIOGRAPHY

1. Anilovich, V.YA. Nadezhnost mashin v zadachah i primerah (ucheb. posobie) / V.YA. Anilovich, A.S. Grigorenko, V.L. Litvinenko. – Harkov: OKO, 2001. – 318s.
2. Kalyavin, V.P. Osnovy teorii nadezhnosti i diagnostiki / V.P. Kalyavin. – SPb.: Elmor, 1998. – 172 s.
3. Volkov, YU.V. Sistemy tekhnicheskogo diagnostirovaniya, avtomaticheskogo upravleniya i zashchity (ucheb. posobie. CHast1) / YU.V. Volkov. – SPb.: SPbGUPTD, 2016. – 115 s.

4. Polovko, A.M. Osnovy teorii nadezhnosti / A.M. Polovko, S.V. Gurov. – SPb.: BHV–Peterburg, 2003. – 704 s.
5. Savin, L.O. Razrabotka prognoznnykh modelej vremennogo drejfa opredelyayushchih parametrov AT pri eyo ekspluatatsii v osobykh usloviyakh / L.O. Savin, M.V. Korolyov, M.V. Nosov // Informacionno–upravlyayushchie sistemy – 2017. – № 3 (88). – S. 58 – 66.
6. Sitchihina, M. V. Razrabotka modelej i programmnykh sredstv prognozirovaniya ostatochnogo resursa oborudovaniya: dis.... kand. tekhn. nauk: 05.13.01 /Sitchihina Mariya Vladimirovna. – Irkutsk. – 2003. – 130 s.
7. Savin, L.O. Analiz opredelyayushchih parametrov i vozmozhnostej ispolzovaniya gibkikh strategij tekhnicheskogo obsluzhivaniya dlya povysheniya nadezhnosti avtomobilnoj tekhniki pri ee ekspluatatsii v osobykh usloviyakh / L.O. Savin, M.V. Korolev, M.V. Nosov // Nauchnyj rezultat. Seriya: Informacionnye tekhnologii. – 2017. – T. 2. № 2. –S. 9–20.
8. Gaskarov, D.V. Malaya vyborka / D.V. Gaskarov, V.I. SHapovalov. – M.: Statistika, 1978. – 248 s.
9. Bazhenov, YU. V. Prognozirovaniye ostatochnogo resursa konstruktivnykh elementov avtomobilej v usloviyakh ekspluatatsii / YU.V. Bazhenov, M.YU. Bazhenov// Fundamentalnye issledovaniya.– 2015. – № 4. – S. 16 – 21.
10. Programma dlya opredeleniya optimalnoj periodichnosti tekhnicheskogo obsluzhivaniya izdelij: svidetelstvo o gosudarstvennoj registratsii programmy dlya EVM № 2018615112 Rossiyskaya Federatsiya / Savin L.O [i dr.]. – № 2018612324; zayavl. 07.03.2018; zaregistrirvano v Reestre programm dlya EVM 26.04.2018.

Savin Leonid Olegovich

FSAEI of HE "Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation"

employee

Russia, 302034, Orel,

ul. Instrument making, 35

Ph. 8(4862)54–95–23

e–mail: leonidys77@yandex.ru

УДК 681.58:620.92

С.П. ПЕТРОВ, К.В. ПОДМАСТЕРЬЕВ, Н.И. МАРКИН, О.С. НИКИТЕНКО

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕМ ГРАФО–ПАРАМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Аннотация. Предложена оценка качества системы управления централизованным теплоснабжением графо–параметрическим методом, основанная на вариации динамических характеристик моделей системы и выборе оптимального варианта.

Ключевые слова: оценка качества, система управления теплоснабжением, графопараметрический метод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров, С.П. Определение граничных условий при параметрическом синтезе системы управления температурным режимом здания / С.П. Петров, К.В. Подмастерьев, А.В. Пилипенко, К.Д. Шорин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2017. – № 5. – С. 184–190.
2. Петров, С.П. Контроль и оптимизация режимов работы абонентского ввода комбинированной системы теплоснабжения / С.П. Петров, К.В. Подмастерьев, О.С. Никитенко, М.И. Конищев, В.И. Коробко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2019 – № 3. – С. 142–150.
3. Маркин, Н.И. Качественно–количественное управление температурным режимом зданий / С.П. Петров, А.В. Пилипенко, Н.И. Маркин, О.С. Никитенко, А.Ю. Пилипенко, Н.К. Шарифов // Информационные системы и технологии, 2019. – № 4. – С. 56– 66.
4. Мухин, О.А. Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции: Учеб. пособие для вузов. – Мн.: Высш. шк., 1986. – 304 с.
5. Чистович, С.А. Автоматическое регулирование расхода тепла в системах теплоснабжения и отопления. [Текст]. – Л.: Стройиздат, 1975. – 160с.
6. Петров, С.П. Зависимость динамических характеристик объекта управления и параметров регулятора в функционально завершенной САУ когенерационной системы теплоснабжения / С.П. Петров // Справочник. Инженерный журнал. –2006. – № 5. – С. 53–57.
7. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов.– 7–е изд., стереот. / Е.Я. Соколов. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.
8. Подмастерьев, К.В. Экспериментальные исследования статической характеристики датчика температуры устройства контроля и регулирования температуры воздуха в помещении лечебно–

профилактического учреждения / К.В. Подмастерьев, О.С. Петрова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2008. – № 2. – С. 71–75.

9. Подмастерьев, К.В. Устройство регулирования температуры воздуха в помещениях / К.В. Подмастерьев, О.С. Петрова // Датчики и системы, 2008. – № 6. – С. 14–18.

10. Подмастерьев, К.В. Устройство контроля и регулирования температуры воздуха для помещений, оборудованных однотрубной системой отопления / К.В. Подмастерьев, О.С. Петрова // Контроль. Диагностика, 2010. – № 5. – С. 45–57.

Петров Сергей Петрович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева»,
доктор технических наук, профессор кафедры
«Автоматизированных систем управления и кибернетики»

302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95

тел. +79536155931

E-mail: nayka55@mail.ru

Подмастерьев Константин Валентинович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева»,
доктор технических наук, профессор, директор
института «Приборостроение, автоматизация и информационные технологии»

302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95

тел. +7-953-615-59-31

E-mail: asms-orel@mail.ru

Маркин Николай Иванович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», и. о. зав. кафедрой
«Автоматизированных систем управления и кибернетики».

302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95

тел. +79202880801

E-mail: E-mail: nim2009@inbox.ru

Никитенко Ольга Сергеевна

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», ведущий научный сотрудник «НОЦ».

302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95

тел. +79606553755

E-mail: lavanda777@bk.ru

S.P. PETROV, K.V. PODMASTERYEV, N.I. MARKIN, O.S. NIKITENKO

QUALITY CONTROL OF THE CENTRALIZED HEAT SUPPLY MANAGEMENT SYSTEM BY THE GRAPHIC-PARAMETRIC METHOD

Abstract. *An assessment of the quality of the centralized heat supply control system by the graph-parametric method is proposed. Assessment is based on the variation of the dynamic characteristics of the system models and the choice of the best option.*

Keywords: *quality control, heat supply control system, graph-parametric method.*

BIBLIOGRAPHY

1. Petrov, S.P. Opredeleniye granichnykh usloviy pri parametricheskom sinteze sistemy upravleniya temperaturnym rezhimom zdaniya / S.P. Petrov, K.V. Podmasteriev, A.V. Pilipenko, K.D. Shorin // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii, 2017. – № 5. – С. 184–190.

2. Petrov, S.P. Kontrol i optimizatsiya rezhimov raboty abonentskogo vvoda kombinirovannoy sistemy teplosnabzheniya / S.P. Petrov, K.V. Podmasteriev, O.S. Nikitenko, M.I. Konishchev, V.I. Korobko // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii, 2019 – № 3. – С. 142–150.

3. Markin, N.I. Kachestvenno-kolichestvennoye upravleniye temperaturnym rezhimom zdaniy / S.P. Petrov, A.V. Pilipenko, N.I. Markin, O.S. Nikitenko, A.YU. Pilipenko, N.K. Sharifov // Informatsionnyye sistemy i tekhnologii, 2019. – № 4. – С. 56– 66.

4. Mukhin, O.A. Avtomatizatsiya sistem teplogazosnabzheniya i ventilyatsii: Ucheb. posobiye dlya vuzov. – Mn.: Vyssh. shk., 1986. – 304 s.

5. Chistovich, S.A. Avtomaticheskoye regulirovaniye raskhoda tepla v sistemakh teplosnabzheniya i otopleniya. [Tekst]. – L.: Stroyizdat, 1975. – 160s.

6. Petrov, S.P. Zavisimost dinamicheskikh kharakteristik ob"yektu upravleniya i parametrov regul'yatora v funktsionalno zavershennoy SAU kogeneratsionnoy sistemy teplosnabzheniya / S.P. Petrov // Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal. –2006. – № 5. – С. 53–57.

7. Sokolov, Ye.YA. Teplofikatsiya i teplovyye seti: Uchebnik dlya vuzov. – 7-ye izd., stereot. / Ye.YA. Sokolov. – M.: Izdatelstvo MEI, 2001. – 472 s.

8. Podmasteryev, K.V. Eksperimentalnyye issledovaniya staticheskoy kharakteristiki datchika temperatury ustroystva kontrolya i regulirovaniya temperatury vozdukha v pomeshchenii lechebno–profilakticheskogo uchrezhdeniya / K.V. Podmasteryev, O.S. Petrova // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii, 2008. – № 2. – S. 71–75.

9. Podmasteryev, K.V. Ustroystvo regulirovaniya temperatury vozdukha v pomeshcheniyakh / K.V. Podmasteryev, O.S. Petrova // Datchiki i sistemy, 2008. – № 6. – S. 14–18.

10. Podmasteryev, K.V. Ustroystvo kontrolya i regulirovaniya temperatury vozdukha dlya pomeshcheniy, oborudovannykh odnotrubnoy sistemoy otopleniya / K.V. Podmasteryev, O.S. Petrova // Kontrol. Diagnostika, 2010. – № 5. – S. 45–57.

Petrov Sergey Petrovich

FGBOU VO «Orlovskiy gosudarstvennyy universitet im. I.S. Turgeneva», doctor of technical Sciences, Professor of the Department of "Automated control systems and Cybernetics».

302026, Orel, Komsomolskaya str., 95,

tel. + 79536155931,

E–mail: nayka55@mail.ru

Podmasteryev Konstantin Valentinovich

FGBOU VO «Orlovskiy gosudarstvennyy universitet im.

I.S. Turgeneva», doktor tekhnicheskikh nauk,

professor, direktor instituta «Priborostroyeniye, avtomatizatsiya i informatsionnyye tekhnologii»

302026, g. Orel, ul. Komsomolskaya, d. 95,

tel. +7–953–615–59–31,

E–mail: asms-orel@mail.ru

Markin Nikolay Ivanovich

FGBOU VO «Orlovskiy gosudarstvennyy universitet im.

I.S. Turgeneva », i. o. zav. kafedra

«Avtomatizirovannykh sistem upravleniya i kibernetiki».

302026, g. Orel, ul. Komsomolskaya, d. 95,

tel. +79202880801,

E–mail: nim2009@inbox.ru

Nikitenko Olga Sergeyevna

FGBOU VO «Orlovskiy gosudarstvennyy universitet im.

I.S. Turgeneva», vedushchiy nauchnyy sotrudnik

«NOTS».

302026, g. Orel, ul. Komsomolskaya, d. 95,

tel.+79606553755,

E–mail: lavanda777@bk.ru

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с основными требованиями
к оформлению научных статей

- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 4 до 10 страниц; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.

- Статья предоставляется в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).

- Параметры набора. Поля: зеркальные, верхнее, левое, правое – 2 см, нижнее – 1,6 см, переплет – 0. Отступы до колонтитулов: верхнего – 1,25 см, нижнего – 0,85 см. Текст набирается в одну колонку, шрифт – Times New Roman, 12 пт. Отступ первой строки абзаца – 1,25 см. Выравнивание – по ширине. Междустрочный интервал – единичный. Включить автоматический перенос. Все кавычки должны быть угловыми (« »). Все символы «тире» должны быть среднего размера («–», а не «-»). Начертание цифр (арабских, римских) во всех элементах статьи – прямое (не курсив).

- Структура статьи:

УДК;

Список авторов на русском языке – **12 пт, ВСЕ ПРОПИСНЫЕ** в формате И.О. ФАМИЛИЯ по центру без абзацного отступа;

Название (не более 15 слов) на русском языке – **14 пт, полужирным, ВСЕ ПРОПИСНЫЕ по центру без абзацного отступа;**

Аннотация (не менее 200–250 слов) на русском языке – **10 пт, курсив;**

Ключевые слова на русском языке (не менее 3 слов или словосочетаний) – **10 пт, курсив;**

Текст статьи;

Список литературы (в порядке цитирования, ГОСТ 7.1–2003) на русском языке, заглавие списка литературы – **12 пт, полужирным, ВСЕ ПРОПИСНЫЕ по центру без абзацного отступа**, литература оформляется **10 пт.**

Сведения об авторах на русском языке – **10 пт.** Приводятся в такой последовательности:

Фамилия, имя, отчество;

учреждение или организация;

ученая степень, ученое звание, должность;

адрес;

телефон;

электронная почта.

- Название статьи, фамилии и инициалы авторов, аннотация, ключевые слова, список литературы (транслитерация) и сведения об авторах **обязательно дублируются на английском языке ЗА СТАТЬЕЙ.**

- Формулы набираются в редакторе формул Microsoft Equation. Размер символов: обычные – **12 пт**, крупный индекс – **9 пт**, мелкий индекс – **7 пт**. Нумерация формул – по правому краю в круглых скобках «()». Описание начинается со слова «где» без двоеточия, без абзацного отступа; пояснение каждого символа дается **с новой строки** в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Единицы измерения даются в соответствии с Международной системой единиц СИ.

- Рисунки – черно-белые. Если рисунок создан средствами MS Office, необходимо преобразовать его в картинку. Для растровых рисунков разрешение не менее 300 dpi. Подрисуточные надписи выполнять шрифтом **Times New Roman, 10 пт, полужирным, курсивным**, в конце точка не ставится.

- Рисунки с подрисуточной подписью, формулы, выравниваются **по центру без абзацного отступа.**

С полной версией требований к оформлению научных статей Вы можете ознакомиться на сайте <http://oreluniver.ru/public/file/science/journal/fipptt/>

Плата за опубликование статей не взимается.

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

Адрес издателя:

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

Адрес редакции:

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

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

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

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

Подписано в печать 23.12.2019 г.
Дата выхода в свет
Формат 60х88 1/8. Усл. печ. л. 9,813.
Цена свободная. Тираж 600 экз.
Заказ _____

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