

Редакция

Главный редактор
Радченко С.Ю. д-р техн. наук, проф.

Заместители главного редактора:
Барсуков Г.В. д-р техн. наук, проф.
Гордон В.А. д-р техн. наук, проф.
Подмастерьев К.В. д-р техн. наук, проф.
Савин Л.А. д-р техн. наук, проф.
Шоркин В.С. д-р физ.-мат. наук, проф.

Члены редколлегии:

Бабичев А.П. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Бухач А. д-р техн. наук, проф. (Польша)
Вдовин С.И. д-р техн. наук, проф. (Россия)
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)
Запозель Я. д-р техн. наук, проф. (Чехия)
Зубчанинов В.Г. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Киричек А.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Копылов Ю.Р. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Кухарь В.Д. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Лавриненко В.Ю. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Ли Шенбо. 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)
Пилпенко О.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Ряпонов В.Я. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Смоленцев В.П. 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: tiostu@mail.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, 2018

Содержание

Колонка главного редактора

Поздравление с юбилеем д.т.н., профессора Голенкова В.А. 3

Теоретическая механика и ее приложения

Трещев А.А., Ходорович П.Ю., Теличко В.Г. Учет анизотропии и разносопротивляемости при определении параметров НДС многослойного полупространства 4

Механика деформируемого твердого тела, динамика и прочность

Старовойтов Э.И., Леоненко Д.В. Осесимметричное деформирование круговой трехслойной пластины в температурном поле 13
Лопа И.В. Продольная устойчивость ступенчатого стержня 23

Машиностроительные технологии и оборудование

Аникеева О.В., Ивахненко А.Г. Сравнительный анализ подходов к расчету геометрической точности металлорежущих станков 28
Селеменова О.В., Селеменов М.Ф., Фроленкова Л.Ю., Тарапанов А.С. Теоретический анализ стойкости эпиламированных покрытий инструмента при поверхностном пластическом деформировании 37
Зелинский В.В., Степанов Ю.С., Борисова Е.А. Повышение износостойкости исполнительных органов машин, образующих трибосистему «Сталь-Сталь» 43
Большаков А.Н., Торопцева Е.Л., Дуреченская С.А., Матюнин А.Г., Косинова О.А., Василенко Ю.В. Влияние параметров режимов резания на упрочнение обработанной поверхности стали Х 53
Корнеев Ю.С., Гордон В.А., Корнеева Е.Н. Характеристики пускозащитных муфт 58
Вдовин С.И., Зайцев А.И., Татарченков Н.В. Математическое моделирование волнообразования при гибке труб 62

Машиноведение и мехатроника

Поляков Р.Н., Савин Л.А., Внуков А.В. Математическая модель бесконтактного пальчикового уплотнения с активным управлением зором 66
Жук А.П., Гавришев А.А., Осипов Д.Л. К вопросу о разработке защищенного устройства управления группой роботов посредством беспроводного канала связи 72
Алейников А.Ю., Афонин А.Н. Исследование поведения змееподобного робота для инспекции трубопроводов в условиях отказа звеньев 79
Надеждин И.В., Молчанов А.А. Энергоэффективные приводы мехатронных грузозачных устройств автоматизированных сборочных систем 86
Крахмалев О.Н. Методы объектно-ориентированного моделирования манипуляционных систем роботов 96
Климов В.Е., Ушаков Л.С., Каманин Ю.Н. Разработка и математическое моделирование мехатронного горнопроходческого комплекса с рабочим органом планетарного типа 106
Лукьянов Е.А., Ивацевич Ю.Б., Зайцев А.Ю. Виртуальное моделирование при формировании компетенций обучающихся по направлению 15.03.06 «Мехатроника и робототехника» 115
Лукиенко Л.В., Исаев В.В. Моделирование зубчато-реечных двигателей шахтных электровозов для выбора ресурсосберегающих параметров 122

Приборы, биотехнические системы и технологии

Яцун А.С. Динамическая ходьба в экзоскелете 133
Гладышев А.Р., Гладышева А.В. Разработка и исследование механической конструкции макета модульного бионического протеза ноги и системы управления 139

Контроль, диагностика, испытания и управление качеством

Демина А.С., Демин С.А., Шалобаев Е.В. Возможности применения тепловизионной спектроскопии в диагностике поверхностей высокооборотного оборудования 146

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:

Babichev A.P. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

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

Vdovin S.I. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

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

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

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

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

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

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

Kopylov Yu.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)

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

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

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

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

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

Executive secretary:

Tyukhta A.V. Candidate Sc. Tech.

Address

302030 Orel, Moskovskaya ul., 34

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

http://oreluniver.ru

E-mail: tiostu@mail.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, 2018

Contents

Editors Note

Congratulations on the jubilee of Doctor of Engineering Science, Professor Golenkov V.A. 3

Theoretical mechanics and its applications

Treschev A.A., Khodorovich P.Yu., Telichko V.G. Account of anisotropy and different resistance in determining the parameters of stress-strain state of a multilayer half-space..... 4

Mechanics of deformable solids, dynamics and strength

Starovoitov E.I., Leonenko D.V. The axisymmetric deformation of circular sandwich plates in a temperature field..... 13

Lopa I.V. Longitudinal stability of a stepped rod..... 23

Machine-building technologies and equipment

Anikeeva O.V., Ivakhnenko A.G. A comparative analysis of approaches to the calculation of geometric accuracy of machine tools..... 28

Selemeneva O.V., Selemenev M.F., Frolenkova L.Yu., Tarapanov A.S. Theoretical analysis of the stability of epilated coatings of the tool at surface plastic deformation..... 37

Zelinskiy V.V., Stepanov Yu.S., Borisova E.A. Increase of wear-resistance of the working parts of machines forming tribosystems steel-steel..... 43

Bolshakov A.N., Toroptseva E.L., Dvurechenskaya S.A., Matynin A.G., Kosinova O.A., Vasilenko Yu.V. Influence of parameters of cutting regimes on hardening of steel X processed surface..... 53

Korneev Yu.S., Gordon V.A., Korneeva E.N. Specification start-protective clutch..... 58

Vdovin S.I., Zaitsev A.I., Tatarchenkov N.V. Mathematical modeling of wave generation for tube bending..... 62

Machine Science and Mechatronics

Polyakov R.N., Savin L.A., Vnukov A.V. Mathematical model of the inflammatory pullic seal with active management of the clearance..... 66

Zhuk A.P., Gavrishev A.A., Osipov D.L. To the question about the development of a secure control device a group of robots through a wireless communication channel..... 72

Alenikov A.Yu., Afolin A.N. Investigation of conduct snake-like robots for inspection of pipelines in the failure of links..... 79

Nadezhdin I.V., Molchanov A.A. Energy-efficient mechatronic drives loading device for automated assembly systems..... 86

Krakhmalev O.N. Methods of object-oriented simulation of manipulation systems of robots..... 96

Klimov V.E., Ushakov L.S., Kamanin Yu.N. Development and mathematical modeling of the mechatronic mining complex with a working organ of planetary type..... 106

Lukyanov E.A., Ivatsevich Yu.B., Zaitsev A.Yu. Virtual modeling in the formation of competencies of students in the field 15.03.06. «Mechatronics and robotics»..... 115

Lukienko L.V., Isaev V.V. Simulation of rack and pinion propellers of mine electric locomotives for selection of resource-saving parameters..... 122

Devices, biotechnical systems and technologies

Yatsun A.S. Dynamic walking in the exoskeleton 133

Gladyshev A.R., Gladysheva A.V. Development and research of mechanical design layout modular bionic leg prosthesis and control system..... 139

Monitoring, Diagnostics, Testing and Quality Management

Demina A.S., Demin S.A., Shalobaev E.V. Applying of thermal imaging spectroscopy in diagnostic of high-speed equipment surfaces 146

Колонка главного редактора

Уважаемые коллеги, авторы и читатели!

6 января 2018 года исполнилось 70 лет выдающемуся Российскому ученому и организатору науки, доктору технических наук, профессору Вячеславу Александровичу Голенкову.

Вячеслав Александрович – лауреат Государственной премии Российской Федерации в области науки и техники, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области образования, лауреат премии Президента Российской Федерации в области образования, лауреат премии им. С.И. Мосина в области разработок военной техники, технологии и оборудования, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники. Награжден орденами Почета и Дружбы, нагрудным знаком «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации», почетными грамотами Минобрнауки РФ.



Профессор Голенков – основатель научной школы в области современных методов обработки металлов давлением, которой подготовлено более десяти докторов и кандидатов наук. Научное направление руководимого В.А. Голенковым коллектива посвящено решению фундаментальной проблемы – развитию новых технологий создания изделий из конструкционных материалов с заранее заданной градиентной субмикро- и нанокристаллической структурой, что обеспечивает значительное повышение их прочностных и эксплуатационных характеристик. В рамках развития научного направления разработаны теоретические подходы к исследованию и моделированию технологических процессов получения изделий с подобной структурой и свойствами, методики проектирования и расчета технологических процессов.

В настоящее время В.А. Голенков руководит двумя докторскими диссертационными советами, является членом редколлегий и редсоветов ряда авторитетных научно-технических журналов, и нам особенно приятно, что одним из них является наш с Вами журнал «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии».

Коллектив редколлегии и редакции присоединяется ко всем поздравлениям и добрым пожеланиям, которые уже получил и, мы не сомневаемся, продолжает получать Вячеслав Александрович, сердечно поздравляем юбиляра и желаем ему долгих лет активной научной жизни, умных учеников и интересных научных публикаций, в том числе и в нашем журнале!

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

УДК 539.3, 624.131.439

А.А. ТРЕЩЕВ, П.Ю. ХОДОРОВИЧ, В.Г. ТЕЛИЧКО

УЧЕТ АНИЗОТРОПИИ И РАЗНОСОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ НДС МНОГОСЛОЙНОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА

Аннотация. В статье решается задача о нахождении параметров напряженно-деформированного состояния полупространства, состоящего из нескольких слоев различных разносопротивляющихся ортотропных материалов, под равномерно распределенным давлением на прямоугольной области. Для описания свойств материала используется модификация стандартного четырехузлового конечного элемента в виде тетраэдра с тремя степенями свободы в узле. Для описания зависимости механических свойств от вида напряженного состояния используется теория, предложенная А. А. Трещевым, в которой вид напряженного состояния описан с помощью нормированных напряжений. Рассчитанные параметры напряженно-деформированного состояния сравнивались с результатами, полученными на основе теорий, предложенных другими авторитетными учеными, а также на основе классической теории анизотропии. В итоге анализа полученных данных авторами проводится сравнение используемых теорий и делается вывод о необходимости учета неклассических свойств материалов.

Ключевые слова: анизотропия, ортотропия, разносопротивляемость, конечный элемент, полупространство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугров, А.К. Анизотропные грунты и основания сооружений. / А.К. Бугров, Голубев А.И. // СПб.: Недра, 1993. — 245 с.: ил.
2. Вялов, С. С. Реологические основы механики грунтов: Учеб. пособие для строительных вузов. / С.С. Вялов // М.: Высш. школа, 1978.— 447 с, ил.
3. Трещев, А.А. Теория деформирования и прочности материалов с изначальной и наведенной чувствительностью к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения / А.А. Трещев. – М.; Тула: РААСН; ТулГУ, 2016. – 326 с.
4. Клованич, С.Ф. Метод конечных элементов в нелинейных задачах инженерной механики. / С.Ф. Клованич // Библиотека журнала "Світ геотехніки", 9-ый выпуск. – Запорожье: Издательство журнала "Світ геотехніки", 2009. – 400 с. : ил. — Библиогр. в конце кн. — ISBN 978-966-7732-72-2
5. Трещев, А.А. Конечно-элементная модель расчета пространственных конструкций из материалов с усложненными свойствами / Трещев А.А., Теличко В.Г., Царев А.Н., Ходорович П.Ю. // Известия ТулГУ. Технические науки. – Тула: Изд-во ТулГУ. – 2012. Вып. 10. – С. 106-115.
6. Трещев, А.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния толстых цилиндрических оболочек из материалов с усложненными свойствами / А.А. Трещев, В.Г. Теличко, П.Ю. Ходорович // Materials Physics and Mechanics. – 2014. – Vol. 21. – No 1. – P. 38-51.
7. Трещев, А.А., Расчет цилиндрических оболочек покрытий транспортных сооружений из материалов с усложненными свойствами/ А.А. Трещев, В.Г. Теличко, П.Ю. Ходорович // Транспортное строительство. 2014. №9. С. 24-27.
8. Трещев, А.А. Моделирование сферической оболочки из разносопротивляющегося графита 3D конечными элементами/ А.А. Трещев, В.Г. Теличко, А.Н. Царев, П.Ю. Ходорович // Вестник Чувашия государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. 2013. № 3(17). С. 62-72.
9. Амбарцумян, С.А. Разномодульная теория упругости / С.А. Амбарцумян // М.: Наука, 1982. – 320 с.
10. Jones, R.M. Stress-Strain Relations for Materials with Different Moduli in Tension and Compression / R.M. Jones // AIAA Journal, 1977. – Vol. 15. – № 1. – P. 16-25.

Трещев Александр Анатольевич
ФГБОУ ВО «ТулГУ», Тула
Доктор технических наук,
профессор, зав. кафедрой
«Строительства, строительных
материалов и конструкций»

Ходорович Павел Юрьевич
ФГБОУ ВО «ТулГУ», г. Тула
Ассистент кафедры
«Строительства, строительных
материалов и конструкций»
300012, г. Тула, пр. Ленина, 92

Теличко Виктор Григорьевич
ФГБОУ ВО «ТулГУ», г. Тула
Кандидат технических наук,
доцент кафедры «Строительства,
строительных материалов и
конструкций»

300012, г. Тула, пр. Ленина, 92
Тел. +7(4872) 25-71-08;
E-mail: taa58@yandex.ru.

Тел. +7(4872) 25-71-08;
E-mail: antaresn80@mail.ru.

300012, г. Тула, пр. Ленина, 92
Тел. +7(4872) 25-71-08;
E-mail: katranv@yandex.ru.

A.A. TRESCHEV, P.Y. KHODOROVICH, V.G. TELICHKO

ACCOUNT OF ANISOTROPY AND DIFFERENT RESISTANCE IN DETERMINING THE PARAMETERS OF STRESS-STRAIN STATE OF A MULTILAYER HALF-SPACE

Abstract. Article task of finding parameters of stressed-strained state of half-space, consisting of several layers of various different resistant of orthotropic materials under uniformly distributed pressure on the rectangular region. To describe the properties of the material used is a modification of a standard four-node finite element in the form of a tetrahedron with three degrees of freedom in the node. To describe the dependence of mechanical properties on the kind of stress state used the theory proposed by A. A. Treschev, which kind of stress state is described using normalized stresses. The designed parameters of stressed-strained state were compared with the results obtained on the basis of the theories proposed by other authoritative scientists, as well as based on the classical theory of anisotropy. The analysis of the received data the authors compared used theories and concludes about the need to take into account the proposed properties of materials.

Keywords: anisotropy, orthotropy, different resistance, finite element, half-space.

BIBLIOGRAPHY

1. Bugrov, A.K. Anizotropnye grunty i osnovaniya sooruzhenij. / A.K. Bugrov, Golubev A.I. // SPb.: Nedra, 1993. — 245 s.: il.
2. Vyalov, S. S. Reologicheskie osnovy mekhaniki gruntov: Ucheb. posobie dlya stroitelnyh vuzov. / S.S. Vyalov // M.: Vyssh. shkola, 1978.— 447 s, il.
3. Treshchev, A.A. Teoriya deformirovaniya i prochnosti materialov s iznachalnoj i navedennoj chuvstvitelnostyu k vidu napryazhennogo sostoyaniya. Opredelyayushchie sootnosheniya / A.A. Treshchev. — M.; Tula: RAASN; TulGU, 2016. — 326 s.
4. Klovanich, S.F. Metod konechnykh ehlementov v nelinejnyh zadachah inzhenernoj mekhaniki. / S.F. Klovanich // Biblioteka zhurnala "Svit geotekhniki", 9-yj vypusk. — Zaporozhe: Izdatelstvo zhurnala "Svit geotekhniki", 2009. — 400 s. : il. — Bibliogr. v konce kn. — ISBN 978-966-7732-72-2
5. Treshchev, A.A. Konechno-ehlementnaya model rascheta prostranstvennykh konstrukcij iz materialov s uslozhnennymi svojstvami / Treshchev A.A., Telichko V.G., Carev A.N., Hodorovich P.YU. // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. — Tula: Izd-vo TulGU. — 2012. Vyp. 10. — S. 106-115.
6. Treshchyov, A.A. Modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya tolstyh cilindricheskikh obolochek iz materialov s uslozhnennymi svojstvami / A.A. Treshchyov, V.G. Telichko, P.YU. Hodorovich // Materials Physics and Mechanics. — 2014. — Vol. 21. — No 1. — P. 38-51.
7. Treshchev A.A., Raschet cilindricheskikh obolochek pokrytij transportnyh sooruzhenij iz materialov s uslozhnennymi svojstvami/ A.A. Treshchev, V.G. Telichko, P.YU. Hodorovich // Transportnoe stroitelstvo. 2014. №9. S. 24-27.
8. Treshchev, A.A. Modelirovanie sfericheskoy obolochki iz raznosoprotivlyayushchegosya grafita 3D konechnymi ehlementami/ A.A. Treshchev, V.G. Telichko, A.N. Carev, P.YU. Hodorovich // Vestnik CHuvashskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. I. YA. YAKovleva. Seriya: Mekhanika predelnogo sostoyaniya. 2013. № 3(17). S. 62-72.
9. Ambarcumyan, S.A. Raznomodulnaya teoriya uprugosti / S.A. Ambarcumyan // M.: Nauka, 1982. — 320 s.
10. Jones, R.M. Stress-Strain Relations for Materials with Different Moduli in Tension and Compression / R.M. Jones // AIAA Journal, 1977. — Vol. 15. — № 1. — P. 16-25.

Treschev Alexander Anatolievich
FSEI HE «TulGU», Tula
Grand PhD in Engineering sciences,
Professor, head of chair
«Construction, Building Materials
and Structures»
300012, Tula, prospekt Lenina, 92
Ph. +7(4872) 25-71-08;
E-mail: taa58@yandex.ru.

Khodorovich Pavel Yurevich
FSEI HE «TulGU», Tula
Assistant lecturer of chair
«Construction, Building Materials
and Structures»
300012, Tula, prospekt Lenina, 92
Ph. +7(4872) 25-71-08;
E-mail: antaresn80@mail.ru.

Telichko Victor Grigorievich
FSEI HE «TulGU», Tula
PhD in Engineering sciences,
Associate Professor of chair
«Construction, Building Materials
and Structures»
300012, Tula, prospekt Lenina, 92
Ph. +7(4872) 25-71-08;
E-mail: katranv@yandex.ru.

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА, ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ

УДК 539.3

Э.И. СТАРОВОЙТОВ, Д.В. ЛЕОНЕНКО

ОСЕСИММЕТРИЧНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ КРУГОВОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ В ТЕМПЕРАТУРНОМ ПОЛЕ

Аннотация. Приведена постановка краевой задачи об осесимметричном деформировании упругой круговой несимметричной по толщине пластины. Рассмотрено влияние температурного поля на НДС пластины. Для описания кинематики пакета приняты гипотезы ломаной нормали: в тонких несущих слоях справедливы гипотезы Кирхгофа; в несжимаемом по толщине жестком заполнителе выполняется гипотеза Тимошенко. Учитывается работа заполнителя в тангенциальном направлении. Уравнения равновесия выведены вариационным методом. Получено аналитическое решение краевой задачи в общем случае нагружения осесимметричной поверхностной нагрузкой. Константы интегрирования выписаны при защемленном или шарнирно опертом контуре пластины. Проведен численный анализ НДС пластины с защемленным контуром.

Ключевые слова: трехслойная круговая пластина, температурное поле, аналитическое решение, численный анализ НДС

Работа выполнена в Московском авиационном институте при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-49-00091-П).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болотин, В.В. Механика многослойных конструкций / В.В. Болотин, Ю.Н. Новичков. — М.: Машиностроение, 1980.— 375 с.
2. Соломонов, Ю.С. Прикладные задачи механики композитных цилиндрических оболочек / Ю.С. Соломонов [и др.]. — М: ФИЗМАТЛИТ, 2014. — 408 с.
3. Горшков, А. Г. Теория упругости и пластичности / А. Г. Горшков, Э.И. Старовойтов, Д.В. Тарлаковский. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. — 416 с.
4. Головкин, К.Г. Динамика неоднородных оболочек при нестационарных нагрузках / К.Г. Головкин, П.З. Луговой, В.Ф. Мейш. — Киев: Киевский ун-т, 2012. — 541 с.
5. Khalili, S. M. R. Free Vibration Analysis of Sandwich Beams Using Improved Dynamic Stiffness Method / S. M. R. Khalili [et al.] // Composite Structures. — 2010. — Vol. 92, no. 2. — Pp. 387–394.
6. Salam, M. Free Vibration Characteristics for Different Configurations of Sandwich Beams / M. Salam, N. Bondok // International Journal of Mechanical & Mechatronics. — 2010. — Vol. 10. — Pp. 41–54.
7. Rabboh, S. The Effect of Functionally Graded Materials into the Sandwich Beam Dynamic Performance / S. Rabboh // Materials Sciences and Applications. — 2013. — 4. — Pp. 751–760.
8. Starovoitov, E.I. Vibration of sandwich rod under local and impulsive forces / E.I. Starovoitov, D.V. Leonenko, A.V. Yarovaia // International Applied Mechanics. — 2005. — V. 41, no. 7. — Pp. 809–816.
9. Старовойтов, Э.И. Колебания круглых трехслойных пластин, связанных с упругим основанием / Э.И. Старовойтов, В.Д. Кубенко, Д.В. Тарлаковский // Изв. ВУЗов. Авиационная техника. — 2009. — № 2. — С. 16–19.
10. Tarlakovskiy, D.V. Analytic investigation of features of stresses in plane nonstationary contact problems with moving boundaries / D.V. Tarlakovskiy, G.V. Fedotenkov // Journal of Mathematical Sciences. — 2009. — Vol. 162, no. 2. — Pp. 246 – 253.
11. Kuznetsova, E.L. Propagation of unsteady waves in an elastic layer / E.L. Kuznetsova, D.V. Tarlakovskii, G.V. Fedotenkov // Mechanics of Solids. — 2011. — Vol. 46, no. 5. — Pp. 779–787.
12. Tarlakovskii, D.V. Nonstationary 3D motion of an elastic spherical shell / D.V. Tarlakovskii, G.V. Fedotenkov // Mechanics of Solids. — 2015. — Vol. 46, no 5. — Pp. 779–787.
13. Tarlakovskii, D.V. Two-Dimensional Nonstationary Contact of Elastic Cylindrical or Spherical Shells shell / D.V. Tarlakovskii, G.V. Fedotenkov // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. — 2014. — Vol. 43, no. 2. — Pp. 145–152.
14. Suvorov, Ye.M. The plane problem of the impact of a rigid body on a half-space modelled by a Cosserat medium/ Ye.M. Suvorov, D.V. Tarlakovskii, G.V. Fedotenkov // Journal of Applied Mathematics and Mechanics. — 2012. — Vol. 76, № 5. — Pp.511–518.

15. Škec, L. Analysis of a geometrically exact multi-layer beam with a rigid interlayer connection / L. Škec, G. Jelenić // *Acta Mechanica*. – 2014. – Vol. 225, no. 2. – Pp. 523–541.
16. Starovoitov, É.I. Elastoplastic bending of a sandwich bar on an elastic foundation / É.I. Starovoitov, D.V. Leonenko, A.V. Yarovaya // *International Applied Mechanics*. 2007. – Vol. 43, no. 4. – Pp. 451–459.
17. Горшков, А.Г. Деформирование трехслойной круговой пластины на упругом основании / Горшков А.Г. [и др.] // *Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества*. – 2005. – № 1. – С. 16–22.
18. Москвитин, В.В. К исследованию напряженно-деформированного состояния двухслойных металлополимерных пластин при циклических нагружениях / В.В. Москвитин, Э.И. Старовойтов // *Изв. АН СССР. Механика твердого тела*. – 1986. – № 1. – С. 116–121.
19. Горшков, А.Г. Циклические нагружения упругопластических тел в нейтронном потоке / А.Г. Горшков, Э.И. Старовойтов, А.В. Яровая // *Механика твердого тела. Изв. РАН*. – 2001. – № 1. – С. 79–85.
20. Старовойтов, Э.И. Переменное деформирование трехслойного стержня локальной синусоидальной нагрузкой / Э.И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, М.А. Журавков // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2016. – № 1 – С.19–28.
21. Камке, Э. *Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям* / Э. Камке. – М.: Наука, 1976. – 576 с.

Старовойтов Эдуард Иванович

Белорусский государственный университета
транспорта
доктор физ. – мат. наук, профессор, зав.
кафедрой «Строительная механика»
Кирова, 34, 246653 г. Гомель, Республика
Беларусь
Тел. +375-232 - 95–39–61 (раб.)
E-mail: edstar0@yandex.by

Леоненко Денис Владимирович

Белорусский государственный университета
транспорта
доктор физ. – мат. наук, доцент, профессор кафедры
«Строительная механика»
Кирова, 34, 246653 г. Гомель, Республика Беларусь.
Тел. +375-232 - 95–39–61 (раб.)
E-mail: leoden@tut.by

E.I. STAROVOITOV, D.V. LEONENKO

THE AXISYMMETRIC DEFORMATION OF CIRCULAR SANDWICH PLATES IN A TEMPERATURE FIELD

Abstract. *The formulation of the boundary value problem of axisymmetric deformation of circular elastic steel thickness of the plate is given. The effect of a thermal field on the SSS of a plate is considered. For the asymmetric in thickness three-layer plate we have accepted the kinematic hypothesis of a broken normal. In the thin external layers the Kirchhoffs hypotheses are accepted. The filler is no compressible through thickness. Its normal subject to the hypothesis Tymoshenko. The work of arising shear stresses is taken into account. At the ends of the plate the presence of rigid diaphragms is assumed to prevent the relative shift of the layers. The presence of splices is presumed on the external surfaces of the layers. The equations of equilibrium in terms of displacements of the rod were obtained by the Variational method. The thermal flow has a constant intensity. The analytical solution of the boundary-value problem in the case of a distributed load was obtained. The numerical analysis of the SSS of a plate with clamped contour is given.*

Keywords: *circular sandwich plate, thermal field, analytical solution, numerical analysis of the SSS.*

BIBLIOGRAPHY

1. Bolotin, V.V. *Mehanika mnogoslojnyh konstrukcij* / V.V. Bolotin, Ju.N. Novichkov. — М.: Mashinostroenie, 1980. - 375 s.
2. Solomonov, Ju.S. *Prikladnye zadachi mehaniki kompozitnyh cilindricheskikh obolochek* / Ju.S. Solomonov [i dr.]. – М: FIZMATLIT, 2014. – 408 s.
3. Gorshkov, A. G. *Teorija uprugosti i plastichnosti* / A. G. Gorshkov, Je.I. Starovojtov, D.V. Tarlakovskij. – М.: FIZMATLIT, 2011. – 416 s.
4. Golovko, K.G. *Dinamika neodnorodnyh obolochek pri nestacionarnyh nagruzkah* / K.G. Golovko, P.Z. Lugovoj, V.F. Mejsh. – Kiev: Kievskij un-t, 2012. – 541 s.
5. Khalili, S.M.R. Free Vibration Analysis of Sandwich Beams Using Improved Dynamic Stiffness Method / S. M. R. Khalili [etc] // *Composite Structures*. – 2010. – Vol. 92, no. 2. – Pp. 387–394.
6. Salam, M. Free Vibration Characteristics for Different Configurations of Sandwich Beams / M. Salam, N. Bondok // *International Journal of Mechanical & Mechatronics*. – 2010. – Vol. 10. – Pp. 41-54.
7. Rabboh, S. The Effect of Functionally Graded Materials into the Sandwich Beam Dynamic Performance / S. Rabboh // *Materials Sciences and Applications*. – 2013. – 4. – Pp. 751–760.

8. Starovoitov, E.I. Vibration of sandwich rod under local and impulsive forces / E.I. Starovoitov, D.V. Leonenko, A.V. Yarovaya // International Applied Mechanics. – 2005. – V. 41, no. 7. – Pp. 809–816.
9. Starovoitov, Je.I. Kolebanija kruglyh trehslojnyh plastin, svjazannyh s uprugim osnovaniem / Je.I. Starovoitov, V.D. Kubenko, D.V. Tarlakovskij // Izv. VUZov. Aviacionnaja tehnika. – 2009. – № 2. – S. 16–19.
10. Tarlakovskij, D.V. Analytic investigation of features of stresses in plane nonstationary contact problems with moving boundaries / D.V. Tarlakovskij, G.V. Fedotenkov // Journal of Mathematical Sciences. – 2009. – Vol. 162, no. 2. – Pp. 246 – 253.
11. Kuznetsova, E.L. Propagation of unsteady waves in an elastic layer / E.L. Kuznetsova, D.V. Tarlakovskii, G.V. Fedotenkov // Mechanics of Solids. – 2011. – Vol. 46, no. 5. – Pp. 779–787.
12. Tarlakovskii, D.V. Nonstationary 3D motion of an elastic spherical shell / D.V. Tarlakovskii, G.V. Fedotenkov // Mechanics of Solids. – 2015. – Vol. 46, no 5. – Pp. 779-787.
13. Tarlakovskii, D.V. Two-Dimensional Nonstationary Contact of Elastic Cylindrical or Spherical Shells shell / D.V. Tarlakovskii, G.V. Fedotenkov // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2014. – Vol. 43, no. 2. – Pp. 145–152.
14. Suvorov, Ye.M. The plane problem of the impact of a rigid body on a half-space modelled by a Cosserat medium/ Ye.M. Suvorov, D.V. Tarlakovskii, G.V. Fedotenkov // Journal of Applied Mathematics and Mechanics. – 2012. – Vol. 76, № 5. – Pp.511-518.
15. Škec, L. Analysis of a geometrically exact multi-layer beam with a rigid interlayer connection / L. Škec, G. Jelenić // Acta Mechanica. –2014. – Vol. 225, no. 2. – Pp. 523–541.
16. Starovoitov, É.I. Elastoplastic bending of a sandwich bar on an elastic foundation / É.I. Starovoitov, D.V. Leonenko, A.V. Yarovaya // International Applied Mechanics. 2007. – Vol. 43, № 4. – P. 451–459.
17. Gorshkov, A.G. Deformirovanie trehslojnoj krugovoj plastiny na uprugom osnovanii / Gorshkov A.G. [i dr.] // Jekologicheskij vestnik nauchnyh centrov Chernomorskogo jekonomicheskogo sotrudnichestva. – 2005. – № 1. – S. 16–22.
18. Moskvitin, V.V. K issledovaniju naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija dvuhslojnyh metallopolimernyh plastin pri ciklicheskih nagruzenijah / V.V. Moskvitin, Je.I. Starovoitov // Izv. AN SSSR. Mehanika tverdogo tela. – 1986. – № 1. – S. 116–121.
19. Gorshkov, A.G. Ciklicheskie nagruzenija uprugoplasticheskikh tel v nejtronnom potoke / A.G. Gorshkov, Je.I. Starovoitov, A.V. Jarovaja // Mehanika tverdogo tela. Izv. RAN. – 2001. – № 1. – S. 79–85.
20. Starovoitov, Je.I. Peremennoe deformirovanie trehslojnogo sterzhnja lokalnoj sinusoidalnoj nagruzkoy / Je.I. Starovoitov, D. V. Leonenko, M.A. Zhuravkov // Fundamentalnye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2016. – № 1 – S.19–28.
21. Kamke, Je. Spravochnik po obyknovennym differencialnym uravnenijam / Je. Kamke. – M.: Nauka, 1976. – 576 s.

Starovoitov Eduard Ivanovich

Belarusian State University of Transport
Doctor of physico-mathematical sciences,
Professor, Head of chair
Kirova st. 34, Gomel, 246653, Belarus
Tel. +375-232-953961 (office)
E-mail edstar0@yandex.by

Leonenko Denis Vladimirovich

Belarusian State University of Transport
Doctor of physico-mathematical sciences, Docent,
Professor
Kirova st. 34, Gomel, 246653, Belarus
Tel. +375-232-953961 (office)
E-mail leoden@tut.by

УДК 539.374

И.В. ЛОПА

ПРОДОЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СТУПЕНЧАТОГО СТЕРЖНЯ

Аннотация. Рассматриваются стержни со ступенчатым изменением жесткости, нагруженные сжимающим осевым усилием. Показано, что классическая теория устойчивости сжатых стержней Л. Эйлера не подходит для описания их поведения, так как предполагает симметричный изгиб оси. Предложен способ оценки их продольной устойчивости, позволяющий рассматривать устойчивость каждой ступени в отдельности и определять суммарную величину максимальной нагрузки для конструкции в целом. Проведены сравнительные расчеты, показавшие возможность использования предложенной модели для ряда инженерных расчетов.

Ключевые слова: ступенчатый стержень, продольная устойчивость, устойчивость ступени, суммарная нагрузка, сравнительные расчеты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент 144208 РФ. Шиберная задвижка / А.И. Ефимова, И.В. Лопы, Е.В. Панченко, К.А. Туркин. Опубл. 10.08.2014. Бюл. №22.

2. Баранов, В.Л. Особенности проектирования динамических приводов затворов трубопроводов / Баранов В.Л., Карпукхин В.П., Лопа И.В. Тула: ТулГУ, 2003. 202 с.
3. Лопа, И.В. Определение перепада давления при закрытии шиберного затвора / А.И. Ефимова, А.И. Жукаев // Известия ТулГУ. Технические науки. 2015. №11-1. с.186-191.
4. Баранов, В.Л. Неустойчивость ударно нагруженных стержней / Баранов В.Л., Лопа И.В. // Известия ВУЗов. Машиностроение, М.: 1995, № 1-3, с. 45.
5. Баранов, В.Л. Устойчивость ударно нагруженных стержней / Баранов В.Л., Лопа И.В., Чивиков З.Ч., Симеонов П.С.. – Тула: ТулГУ, 1997. – 128 с.
6. Масленников, А.М. Основы динамики и устойчивости стержневых систем. / А.М Масленников. М.: Мир, 1986 г.
7. Леонтьев, Н.Н. Основы строительной механики стержневых систем / Леонтьев Н.Н., Соболев Д.Н., Амосов А.А.- М.: Изд-во АСВ, 1996.-541с.
8. Baranov, V.L. Some problems of design of bullets for small arms / Baranov V.L., Zubachev V.I., Lopa I.V., Schitov V.N.. – Тула, 1996.

Лопа Игорь Васильевич,

ФГБОУ ВПО «ТулГУ»

Доктор технических наук, профессор, профессор каф. ПМДМ

300000, г. Тула, пр. Ленина, 92

Тел. 25-46-39

E-mail: pmdm@tsu.tula.ru

I.V. LOPA

LONGITUDINAL STABILITY OF A STEPPED ROD

Abstract. *The rods are considered with the step change in stiffness, loaded by compressive axial force. It is shown that the classical theory of stability of compressed rods of L. Euler is not suitable for describing their behavior, as it implies symmetric bending axis. The proposed method of assessing longitudinal stability, which allows to consider stability of each stage separately and to determine the total value of maximum load for design in General. Comparative calculations have shown the possibility of using the proposed model for a number of engineering calculations.*

Keywords: *stepped rod, longitudinal stability, resistance level, total load, comparative calculations.*

BIBLIOGRAPHY

1. Patent 144208 RF. Shibernaya zadvizhka / A.I. Yefimova, I.V. Lopa, Ye.V. Panchenko, K.A. Turkin. Opubl. 10.08.2014. Bvul. №22.
2. Baranov, V.L. Osobennosti proyektirovaniya dinamicheskikh privodov zatvorov truboprovodov / Baranov V.L., Karpukhin V.P., Lopa I.V. Tula: TulGU, 2003. 202 s.
3. Lopa, I.V. Opredeleniye perepada davleniya pri zakrytii shibernogo zatvora / A.I. Yefimova, A.I. Zhukayev //Izvestiya TulGU. Tekhnicheskije nauki. 2015. №11-1. s.186-191.
4. Baranov, V.L. Neustoychivost udarno nagruzhennykh sterzhney / Baranov V.L., Lopa I.V. // Izvestiya VUZov. Mashinostroeniye, M.: 1995, № 1-3, s. 45.
5. Baranov, V.L. Ustoychivost udarno nagruzhennykh sterzhney / Baranov V.L., Lopa I.V., Chivikov Z.CH., Simeonov P.S.. – Tula: TulGU, 1997. – 128 s.
6. Maslennikov, A.M. Osnovy dinamiki i ustoychivosti sterzhnevykh sistem. / A.M Maslennikov. M.: Mir, 1986.
7. Leontyev, N.N. Osnovy stroitelnoy mekhaniki sterzhnevykh sistem / Leontyev N.N., Sobolev D.N., Amosov A.A.- M.: Izd-vo ASV, 1996.-541s.
8. Baranov, V.L. Some problems of design of bullets for small arms / Baranov V.L., Zubachev V.I., Lopa I.V., Schitov V.N.. – Tula, 1996.

Lopa Igor Vasilevish

FGBOU VPO "Tula State University"

Dr. Techn. Sciences, Professor,

Professor, DEP. PMDM

300000, Tula, Lenin Ave., 92

Tel. 25-46-39

E-mail: pmdm@tsu.tula.ru

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ **И ОБОРУДОВАНИЕ**

УДК 621.9.06:006.83

О.В. АНИКЕЕВА, А.Г. ИВАХНЕНКО

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К РАСЧЕТУ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Аннотация. Изложены два основных подхода к расчетам геометрической точности станков и полученные с их использованием результаты. С единых позиций на основе функции формообразования представлены зависимости, лежащие в их основе. Для каждого подхода предложены зависимости для расчета объемной геометрической погрешности станка, исключающие рассмотрение геометрических характеристик режущего инструмента. Установлена преимущественная область применения каждого из подходов, а также причины различий в получаемых результатах на основе анализа известных решений.

Ключевые слова: металлорежущие станки; точность; геометрические погрешности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-60049 мол_а_дк.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Soons, J. A. (1993). Accuracy analysis of multi-axis machines. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven. DOI: 10.6100/IR400139.
2. D.N. Reshetov, V.T. Portman, Accuracy of Machine Tools, ASME Press, NY, 1988, 304 p.
3. Kushnir, E., Portman, V., Aguilar, A., Clark, W. Layout evaluation at earlier stages of machine tool design: form-shaping function-based approach. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. June 2017, Volume 90, Issue 9–12, pp. 3333–3346. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9667-0>.
4. Wenjie Tian, Weiguo Gao, Wenfen Chang, and Yingxin Nie, “Error Modeling and Sensitivity Analysis of a Five-Axis Machine Tool,” Mathematical Problems in Engineering, vol. 2014, Article ID 745250, 8 pages, 2014. doi:10.1155/2014/745250.
5. Cai L, Zhang Z, Cheng Q, Liu Z, Gu P. A geometric accuracy design method of multi-axis NC machine tool for improving machining accuracy reliability. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2015; 17 (1): 143–155.
6. Hong Yihai, Liu Jiangnan, Yang Xiaojuan, Jiang Guang. Analysis and Robust Design of Geometric Accuracy of a Three-Axis CNC Surface Grinding Machine. The 14th IFToMM World Congress, Taipei, Taiwan, October 25-30, 2015. DOI Number: 10.6567/IFToMM.14TH.WC.PS12.001.
7. Yang, J., Guan, J., Ye, X. et al. Effects of geometric and spindle errors on the quality of end turning surface. Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering). 2015 16(5): 371-386.
8. Reiko Harumoto, Ichiro Inasaki. Error Analysis of Machine Tools Using Form Shaping Function. Journal of the Japan Society of Precision Engineering. Volume 59 (1993). Issue 6, Pp. 915-920. doi.org/10.2493/jjspe.59.915.
9. Ivakhnenko, A.G, Podlenko O.N. Accuracy of shaping on hexapods. Russian Engineering Research. 2007, Volume 27, Issue 12, pp. 896-900.
10. A.V. Kirichek, A.G. Ivakhnenko, E.O. Ivakhnenko, A.Y. Altukhov. Geometric Accuracy of the Machines with Strut-Type Structures. International Journal of Applied Engineering Research. 21 (2014). Pp. 9951–9958.
11. O. Anikeeva, A. Ivakhnenko, A. Zhirkov. Parametric Reliability Assurance for Machine-Tools. Procedia Engineering. 150 (2016). Pp 712–716.
12. O.V. Anikeeva, A.G. Ivakhnenko, O.Yu. Erenkov. Modeling the Influence of Geometric Errors of Turning Machine for Accuracy Machinable Surface. Procedia Engineering. 206 (2017). Pp 1127–1132. doi: 0.1016/j.proeng.2017.10.605.
13. Ligang Cai, Jiaying Li, Qiang Cheng, Bingwei Sun and Yan Wang. A Method to Optimize Geometric Errors of Machine Tool based on SNR Quality Loss Function and Correlation Analysis. MATEC Web Conf., 95 (2017) 07011. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/20179507011>.
14. Shijie Guo, Dongsheng Zhang, and Yang Xi, “Global Quantitative Sensitivity Analysis and Compensation of Geometric Errors of CNC Machine Tool,” Mathematical Problems in Engineering, vol. 2016, Article ID 2834718, 12 pages, 2016. doi:10.1155/2016/2834718.
15. ISO 230-1:2012. Test code for machine tools, Part 1: Geometric accuracy of machines operating under no-load or quasistatic conditions. In return ISO 230-1:1996, Third edition 01.03.2012, Switzerland: ISO, 2012, 168 p.
16. Аникеева, О.В. Развитие вариационного метода расчета точности металлорежущих станков / О.В. Аникеева // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - № 5, 2016. – С. 111-118. <https://doi.org/10.1631/jzus.A1500029>.
17. Аникеева, О.В. Влияние параметров геометрической точности станков на отклонения расположения обработанных поверхностей / О.В. Аникеева, А.Г. Ивахненко, Д.Н. Крюков // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №1 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/52TVN117.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

Аникеева Олеся Владимировна
 ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск
 Канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник
 кафедры УКМиС
 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94
 Тел. 8-952-496-46-18
 E-mail: olesya-anikeeva@yandex.ru

Ивахненко Александр Геннадьевич
 ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск
 Д-р. техн. наук, профессор, профессор кафедры
 УКМиС
 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94
 Тел. 8-960-676-15-90
 E-mail: ivakhnenko2002@mail.ru

O.V. ANIKEEVA, A.G. IVAKHNENKO

A COMPARATIVE ANALYSIS OF APPROACHES TO THE CALCULATION OF GEOMETRIC ACCURACY OF MACHINE TOOLS

Abstract. *Two basic approaches to calculations of geometrical accuracy of machine tools and received with its using the results are presented. From a single position on the basis of the functions forming the dependences underlying them are presented. For each approach dependencies are proposed for calculating the geometric volumetric error of the machine tool excluding the consideration of the geometric characteristics of the cutting tool. A predominant area is installed for the application of each approach as well as the reasons for the differences in the results based on the analysis of known solutions.*

Keywords: *machine tools; accuracy; geometric errors.*

BIBLIOGRAPHY

1. Soons, J. A. (1993). Accuracy analysis of multi-axis machines. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven. DOI: 10.6100/IR400139.
2. D.N. Reshetov, V.T. Portman, Accuracy of Machine Tools, ASME Press, NY, 1988, 304 p.
3. Kushnir, E., Portman, V., Aguilar, A., Clark, W. Layout evaluation at earlier stages of machine tool design: form-shaping function-based approach. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. June 2017, Volume 90, Issue 9–12, pp. 3333–3346. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9667-0>.
4. Wenjie Tian, Weiguo Gao, Wenfen Chang, and Yingxin Nie, “Error Modeling and Sensitivity Analysis of a Five-Axis Machine Tool,” Mathematical Problems in Engineering, vol. 2014, Article ID 745250, 8 pages, 2014. doi:10.1155/2014/745250.
5. Cai L, Zhang Z, Cheng Q, Liu Z, Gu P. A geometric accuracy design method of multi-axis NC machine tool for improving machining accuracy reliability. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2015; 17 (1): 143–155.
6. Hong Yihai, Liu Jiangnan, Yang Xiaojuan, Jiang Guang. Analysis and Robust Design of Geometric Accuracy of a Three-Axis CNC Surface Grinding Machine. The 14th IFToMM World Congress, Taipei, Taiwan, October 25-30, 2015. DOI Number: 10.6567/IFToMM.14TH.WC.PS12.001.
7. Yang, J., Guan, J., Ye, X. et al. Effects of geometric and spindle errors on the quality of end turning surface. Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering). 2015 16(5): 371-386.
8. Reiko Harumoto, Ichiro Inasaki. Error Analysis of Machine Tools Using Form Shaping Function. Journal of the Japan Society of Precision Engineering. Volume 59 (1993). Issue 6, Pp. 915-920. doi.org/10.2493/jjspe.59.915.
9. Ivakhnenko, A.G, Podlenko O.N. Accuracy of shaping on hexapods. Russian Engineering Research. 2007, Volume 27, Issue 12, pp. 896-900.
10. A.V. Kirichek, A.G. Ivakhnenko, E.O. Ivakhnenko, A.Y. Altukhov. Geometric Accuracy of the Machines with Strut-Type Structures. International Journal of Applied Engineering Research. 21 (2014). Pp. 9951–9958.
11. O. Anikeeva, A. Ivakhnenko, A. Zhirkov. Parametric Reliability Assurance for Machine-Tools. Procedia Engineering. 150 (2016). Pp 712–716.
12. O.V. Anikeeva, A.G. Ivakhnenko, O.Yu. Erenkov. Modeling the Influence of Geometric Errors of Turning Machine for Accuracy Machinable Surface. Procedia Engineering. 206 (2017). Pp 1127–1132. doi: 0.1016/j.proeng.2017.10.605.
13. Ligang Cai, Jiaying Li, Qiang Cheng, Bingwei Sun and Yan Wang. A Method to Optimize Geometric Errors of Machine Tool based on SNR Quality Loss Function and Correlation Analysis. MATEC Web Conf., 95 (2017) 07011. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/20179507011>.

14. Shijie Guo, Dongsheng Zhang, and Yang Xi, "Global Quantitative Sensitivity Analysis and Compensation of Geometric Errors of CNC Machine Tool," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2016, Article ID 2834718, 12 pages, 2016. doi:10.1155/2016/2834718.

15. ISO 230-1:2012. Test code for machine tools, Part 1: Geometric accuracy of machines operating under no-load or quasistatic conditions. In return ISO 230-1:1996, Third edition 01.03.2012, Switzerland: ISO, 2012, 168 p.

16. Anikeeva, O.V. Razvitie variatsionnogo metoda rascheta tochnosti metallovezhushchih stankov [The development of the variational method for the computation of machine-tools accuracy] / O.V. Anikeeva, // *Fundamentalnyie i prikladnyie problemyi tehniki i tehnologii = Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology*. - № 5, 2016. – pp. 111-118. (in Russian). <https://doi.org/10.1631/jzus.A1500029>.

17. Anikeeva, O.V. Vliyanie parametrov geometricheskoy tochnosti stankov na otkloneniya raspolozheniya obrabotannyih poverhnostey [The influence of machine tools geometric accuracy parameters on the position deviations of the machinable surfaces] / O.V. Anikeeva, A.G. Ivakhnenko, D.N. Krukov // *Internet-zhurnal «Naukovedenie» = Naukovedenie*. V. 9, №1 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/52TVN117.pdf>. (in Russian).

Anikeeva Olesya Vladimirovna

Southwest State University
Candidate of Science Engineering, Associate Professor,
Senior researcher of the department QMM&S
305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya Street, 94
Tel. 8-952-496-46-18
E-mail: olesya-anikeeva@yandex.ru

Ivakhnenko Alexander Gennadievich

Southwest State University
Doctor of Sciences Engineering, Professor, Professor of
the department QMM&S
305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya Street, 94
Тел. 8-960-676-15-90
E-mail: ivakhnenko2002@mail.ru

УДК 621.9

О.В. СЕЛЕМЕНЕВА, М.Ф. СЕЛЕМЕНЕВ, Л.Ю. ФРОЛЕНКОВА, А.С. ТАРАПАНОВ

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТОЙКОСТИ ЭПИЛАМИРОВАННЫХ
ПОКРЫТИЙ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ
ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ**

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы повышения долговечности и надежности инструмента при поверхностном пластическом деформировании. Предлагаются теоретические подходы анализа стойкости поверхностно – активных покрытий рабочей поверхности инструмента. Установлено, что расчеты касательных напряжений, возникающих в граничных зонах «инструмент – эпилам», проведенные на основании классических представлений приводят к завышенным значениям. Предлагается применять положения микромолекулярной теории упругости, позволяющие наиболее достоверно прогнозировать стойкость поверхностно – активных покрытий.

Ключевые слова: покрытия, эпиламы, технология.

Работа выполнялась в рамках базовой части Государственного задания на 2017 - 2019 гг., код проекта 1.5265.2017/БЧ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология и оборудование статико – импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием: Библиотека технолога. М.: Машиностроение, 2004. – 288 с.; ил.
2. Шоркин, В. С. Теоретическая оценка адгезионных свойств покрытий режущего инструмента // Шоркин В. С., Фроленкова Л. Ю. Упрочняющие технологии и покрытия. – 2012. - № 8. С. 22. 25.
3. Шоркин, В. С. Учет влияния тройного взаимодействия частиц среды на поверхностные и адгезионные свойства твердых тел // Шоркин В. С., Фроленкова Л. Ю., Азаров А. С. «Материаловедение». – 2011. – № 2. – С. 2 – 7.
4. Мацевитый, Б.М. Покрытия для режущих инструментов. Харьков, Вища школа. Изд-во Харьковского ун-та, 1987, 128 с.
5. Киричек, А.В. Влияние эпиламов (ПАВ) на физико – технические свойства инструментов при низкоскоростной механической обработке // Киричек А.В., Селеменев М.Ф., Селеменова О.В. «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» №2 (322), ОГУ имени И.С.Тургенева, 2017г. С.- 85-96
6. Бабичев, А.П., Формирование вибрационных механохимических твердосмазочных покрытий на основе дисульфида молибдена. // Бабичев А.П., Иванов В.В., Селеменев М.Ф., Марченко Ю.В. Известия Орел

ГТУ «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии», - Орел, 2011.

№ 2 (286)

7. Иванов, В.В. Формирование вибрационных механохимических покрытий на основе дисульфида молибдена // Иванов В.В., Селеменов М.Ф., Марченко Ю.В. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.- 2011.- №2.- С. 73-78.

Селеменова Ольга Викторовна

Орловский государственный университет им.

И.С. Тургенева,

г. Орел

Аспирант кафедры машиностроения

Тел 89102011202,

E-mail SelemenevaOL@yandex.ru

Селеменов Михаил Федорович

Орловский государственный университет им. И.С.

Тургенева,

г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры

машиностроения

Тел 89102670717,

E-mail Selemenev2007@yandex.ru

Фроленкова Лариса Юрьевна

Орловский государственный университет им.

И.С. Тургенева,

г. Орел

Доктор технических наук, профессор кафедры

машиностроения

Тел 89103017320,

E-mail: larafrolenkova@yandex.ru

Тарапанов Александр Сергеевич

Орловский государственный университет им. И.С.

Тургенева, г. Орел

Доктор технических наук, профессор кафедры

машиностроения

Тел 89202877774,

E-mail: tarapanov@rambler.ru

O.V. SELEMENEVA, M.F. SELEMENEV, L.Yu. FROLENKOVA, A.S. TARAPANOV

THEORETICAL ANALYSIS OF THE STABILITY OF EPILATED COATINGS OF THE TOOL AT SURFACE PLASTIC DEFORMATION

Abstract. *The article deals with the issues of increasing the durability and reliability of the tool for surface plastic deformation. Theoretical approaches to the analysis of the durability of surface active coatings of the tool working surface are proposed. It is established that calculations of tangential stresses arising in the boundary zones "instrument-epilam", carried out on the basis of classical representations, lead to overestimated values. It is proposed to apply the provisions of the micromolecular theory of elasticity, which allow the most reliable prediction of the stability of surface active coatings.*

Keywords: *coatings, epilamy, technology.*

BIBLIOGRAPHY

1. Tekhnologiya i oborudovaniye statiko –impulsnoy obrabotki poverkhnostnym plasticheskim deformirovaniyem: Biblioteka tekhnologa. M.: Mashinostrovenive, 2004. – 288 s.; il.
2. Shorkin, V. S. Teoreticheskaya otsenka adgezionnykh svoystv pokrytiy rezhushchego instrumenta // Shorkin V. S., Frolenkova L. YU. Uprochnyayushchiye tekhnologii i pokrytiya. – 2012. - № 8. S. 22. 25.
3. Shorkin, V. S. Uchet vliyaniya troynogo vzaimodeystviya chastits sredy na poverkhnostnyye i adgezionnyye svoystva tverdykh tel // Shorkin V. S., Frolenkova L. YU., Azarov A. S. «Materialovedeniye». – 2011. – № 2. – S. 2 – 7.
4. Matsevityy, B.M. Pokrytiya dlya rezhushchikh instrumentov. Kharkov, Vishcha shkola. Izd-vo Kharkovskogo un-ta, 1987. 128 s.
5. Kirichek, A.V. Vliyaniye epilamov (PAV) na fiziko – tekhnicheskive svoystva instrumentov pri nizkoskorostnoy mekhanicheskoy obrabotke // Kirichek A.V., Selemenev M.F., Selemeneva O.V. «Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii» №2 (322). OGU imeni I.S.Turgeneva. 2017g. S.- 85-96
6. Babichev, A.P., Formirovaniye vibratsionnykh mekhanokhimicheskikh tverdosmazochnykh pokrytiy na osnove disulfida molibdena. // Babichev A.P., Ivanov V.V., Selemenev M.F., Marchenko YU.V. Izvestiya Orel GTU «Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii», - Orel, 2011. № 2 (286)
7. Ivanov, V.V. Formirovaniye vibratsionnykh mekhanokhimicheskikh pokrytiy na osnove disulfida molibdena // Ivanov V.V., Selemenev M.F., Marchenko YU.V. Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii.- 2011.- №2.- S. 73-78.

Selemeneva Olga Viktorovna

Oryol State University. IS Turgenev, the city of Orel
Post-graduate student of the department of mechanical
engineering

Phone 89102011202,

E-mail SelemenevaOL@yandex.ru

Selemenev Mikhail Fedorovich

Oryol State University. IS Turgenev, the city of Orel
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of
the Machine Building Department

Tel 89102670717,

E-mail Selemenev2007@yandex.ru

Frolenkova Larisa Yurevna

Oryol State University. IS Turgenev, the city of Orel
Doctor of Technical Sciences, Professor of the
Department of Mechanical Engineering

Tel 89103017320,

Tarapanov Alexander Sergeevich

Oryol State University. IS Turgenev, the city of Orel
Doctor of Technical Sciences, Professor of the
Department of Mechanical Engineering

Tel 89202877774,

УДК 621.89; 669.01

В.В. ЗЕЛИНСКИЙ, Ю.С. СТЕПАНОВ, Е.А. БОРИСОВА

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ МАШИН, ОБРАЗУЮЩИХ ТРИБОСИСТЕМУ «СТАЛЬ-СТАЛЬ»

Аннотация. В статье в аспекте повышения износостойкости исполнительных органов группы технологических машин на примере трибосистемы «легированная сталь - углеродистая сталь» приводятся результаты экспериментального моделирования процессов переноса легирующих элементов индентора в материал контртела и образования в нем вторичных структур с повышенной твердостью. Исследуется также влияние на эти процессы обработки индентора импульсным магнитным полем, основываясь на возможности использования магнитной обработки как энергетического фактора в управлении процессами диффузии и адгезии в зоне взаимодействия сопряженных кристаллических решеток как в открытой термодинамической системе.

По результатам измерения микротвердости поверхности трения контртела установлено образование вторичных структур с высокой твердостью. Изучением элементного содержания поверхностного слоя методом оптико-эмиссионного спектрального анализа установлено существенное повышение карбидообразующих химических элементов, перенесенных из материала индентора. Установлено, что магнитная обработка индентора существенно снижает эффективность процесса переноса отмеченных химических элементов и образования изнашивающих твердых частиц.

На основе сопоставления экспериментальных результатов и теоретического моделирования с использованием основных положений материаловедения и трибологии выявлена принципиальная возможность химических преобразований в поверхностном слое механизмами диффузии и адгезии с появлением частиц карбидной фазы и интерметаллидов, характеризующихся наличием в составе химических связей повышенной ковалентной компоненты, обуславливающей им высокую твердость. Делается вывод о выявлении механизма влияния магнитной обработки на повышение износостойкости индентора трибосистемы.

Ключевые слова: износ, микротвердость, адгезия, диффузия, трибосистема, энергия, химический элемент.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зелинский, В.В. О механизме снижения износа ферромагнитных материалов / В.В. Зелинский, Е.А. Борисова // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. - 2014. - Том 2. - №2. - С. 51–59.
2. Гершман, И.С. Описание процесса схватывания методами неравновесной термодинамики и теории самоорганизации / И.С. Гершман // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2009. - №4. - С. 3–5.
3. Булычев, В.В. Исследование процессов схватывания металлов при трении как фазового перехода первого рода / В.В. Булычев // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. - 2016. - № 11-4. - С. 9–14.
4. Машков, Ю.К. Трибофизика металлов и полимеров: монография / Ю.К. Машков. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. - 240 с.
5. Липатов, А.А. Моделирование диффузионных процессов в контакте «твердый сплав – сталь / А.А. Липатов // Известия ВолгГТУ. Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». - 2008. - Вып. 4. - №9(47). - С. 22–26.
6. Воробьев, Р.А. Влияние обработки импульсным магнитным полем на твердость сталей в упрочненном состоянии / Р.А. Воробьев, В.А. Скуднов, В.Н. Дубинский // Технология металлов. - 2011. - №2. - С. 28–33.
7. Воробьев, Р.А. Характер изменения физико-механических свойств холоднодеформированной стали 10 при обработке импульсным магнитным полем / Р.А. Воробьев, В.Н. Дубинский // Технология металлов. - 2011. - №1. - С. 11–14.
8. Зелинский, В.В. Влияние обработки магнитным полем на износ инструментальных сталей / В.В. Зелинский, Ю.С. Степанов, Е.А. Борисова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2017. - № 2 (322). - С. 73–81.
9. Зелинский, В.В. Атомно-электронный аспект изнашивания в трибосистемах «инструментальная сталь - углеродистая сталь» / В.В. Зелинский, Е.А. Борисова, Д.Н. Сучилин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. - 2017. - Т. 19. - № 2. - С. 133–150.

10. Материаловедение: учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 8-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 648 с.

Зелинский Виктор Васильевич

Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых»
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»
602264, г. Муром, Владимирская область, ул. Орловская, 23,
Тел. (49234) 7-72-82
E-mail: selvik46@yandex.ru

Степанов Юрий Сергеевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева»,
доктор технических наук, профессор
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95,
Тел. +7(4862) 47-50-71
E-mail: yury057@yandex.ru

Борисова Екатерина Александровна

Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых»
Ст. преподаватель кафедры «Технология машиностроения»
602264, г. Муром, Владимирская область, ул. Орловская, 23,
Тел. (49234) 7-72-82
E-mail: Catherine.b2011@yandex.ru

V.V. ZELINSKIY, Yu.S. STEPANOV, E.A. BORISOVA

INCREASE OF WEAR-RESISTANCE OF THE WORKING PARTS OF MACHINES FORMING TRIBOSYSTEMS STEEL-STEEL

Abstract. *In the article, in the aspect of increasing the wear resistance of the working parts of a group of technological machines, the example of the tribosystem "alloy steel-carbon steel" gives the results of experimental modeling of the transfer of alloying elements of the indenter into the material of the counterbody and the formation of secondary structures with increased hardness in it. The influence of a pulsed magnetic field on these processes of indenter processing is also investigated, based on the possibility of using magnetic processing as an energy factor in controlling the processes of diffusion and adhesion in the interaction zone of conjugated crystal lattices, both in an open thermodynamic system.*

Based on the results of measuring the microhardness of the friction surface of the counterbody, the formation of secondary structures with high hardness was established. By studying the elemental content of the surface layer by the method of optical emission spectroscopic analysis, a substantial increase in the carbide-forming chemical elements transferred from the indenter material was established. It has been established that the magnetic processing of the indenter significantly reduces the efficiency of the transfer process of the marked chemical elements and the formation of wear-resistant solid particles.

On the basis of comparison of experimental results and theoretical modeling using the basic positions of materials science and tribology, the principal possibility of chemical transformations in the surface layer by diffusion and adhesion mechanisms with the appearance of particles of the carbide phase and intermetallides, characterized by the presence of an increased covalent component in the chemical bonds, which determines their high hardness, is revealed. A conclusion is drawn on the mechanism of the influence of magnetic treatment on the increase of the wear resistance of the indenter of the tribosystem.

Keywords: *wear, microhardness, adhesion, diffusion, tribosystem, energy, chemical element.*

BIBLIOGRAPHY

1. Zelinskij, V.V. O mehanizme snizhenija iznosa ferromagnitnyh materialov /V.V. Zelinskij, E.A. Borisova // Vestnik PNIPU. Mashinostroenie, materialovedenie. 2014. – Tom 2. – №2. – S. 51–59.
2. Gershman, I.S. Opisanie processa shvatyvanija metodami neravnesnoj termodinamiki i teorii samoorganizacii / I.S. Gershman // Trenie i smazka v mashinah i mehanizmah. 2009. – №4. – S. 3–5.
3. Bulychev, V.V. Issledovanie processov shvatyvanija metallov pri trenii kak fazovogo perehoda pervogo roda / V.V. Bulychev // Aktualnye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk. – 2016. – № 11-4. – S. 9–14.
4. Mashkov, Ju.K. Tribofizika metallov i polimerov: monografija / Ju.K. Mashkov. – Omsk: Izd-vo OmGTU, 2013. – 240 s.
5. Lipatov, A.A. Modelirovanie diffuzionnyh processov v kontakte «tverdyj splav – stal / A.A. Lipatov // Izvestija VolgGTU. Serija «Progressivnye tehnologii v mashinostroenii». – 2008. – Vyp. 4. – №9(47). – S. 22–26.
6. Vorobev, R.A. Vlijanie obrabotki impulsnym magnitnym polem na tverdst stalej v uprochnennom sostojanii / R.A. Vorobev, V.A. Skudnov, V.N. Dubinskij // Tehnologija metallov. – 2011. – №2. – S. 28–33.

7. Vorobev, R.A. Harakter izmenenija fiziko-mehaničeskikh svojstv holodnodeformirovannoj stali 10 pri obrabotke impulsnym magnitnym polem / R.A. Vorobev, V.N. Dubinskij // Tehnologija metallov. – 2011. – №1. – S. 11–14.

8. Zelinskij, V.V. Vlijanie obrabotki magnitnym polem na iznos instrumentalnyh stalej / V.V. Zelinskij, Ju.S. Stepanov, E.A. Borisova // Fundamentalnye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2017. – № 2 (322). – S. 73–81.

9. Zelinskij, V.V. Atomno-jelektronnyj aspekt iznashivaniya v tribosistemah «instrumentalnaja stal - uglerodistaja stal» / V.V. Zelinskij, E.A. Borisova, D.N. Suchilin // Vestnik Permskogo nacionalnogo issledovatel'skogo politehničeskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie. – 2017. – T. 19. – № 2. – S. 133–150.

10. Materialovedenie: uchebnik dlja vuzov / B.N. Arzamasov, V.I. Makarov, G.G. Muhin i dr.; Pod obshh. red. B.N. Arzamasova, G.G. Muhina. – 8-e izd., stereotip. – M.: Izd-vo MGTU im. N.Je. Baumana, 2008. – 648 s.

Zelinskij Victor Vasilevich

Murom Institute (branch) Vladimir state University named Alexander G. and Nicholas G. Stoletovs
Candidate of technical Sciences, docent of chair «Technology of machine building»
602264, Murom, Vladimir region, Orlovskaya street, 23
Ph.: (49234) 7-72-82
E-mail: selvik46@yandex.ru

Stepanov Yury Sergeevich

Doctor of Technical Science,
Professor Orel State University named after I.S. Turgenev
302026, Russia, Orel, Komsomolskaya str., 95
Ph.: +7(4862)47-50-71
E-mail: yury057@yandex.ru

Borisova Ekaterina Aleksandrovna

Murom Institute (branch) Vladimir state University named Alexander G. and Nicholas G. Stoletovs
Chief lecturer of chair of chair «Technology of machine building»
602264, Murom, Vladimir region, Orlovskaya street, 23
Ph.: (49234) 7-72-82
E-mail: Catherine.b2011@yandex.ru

УДК 669.017:621.91

А.Н. БОЛЬШАКОВ, Е.Л. ТОРОПЦЕВА, С.А. ДВУРЕЧЕНСКАЯ,
А.Г. МАТЮНИН, О.А. КОСИНОВА, Ю.В. ВАСИЛЕНКО

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ
НА УПРОЧНЕНИЕ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ X**

***Аннотация.** В данной работе проведено исследование влияния режимов резания на упрочнение обработанной поверхности стали X на участках, соответствующих краевым зонам, а также проведено сравнение с упрочнением прирезцовой поверхности стружки, полученной из стали X при тех же режимах обработки.*

***Ключевые слова:** микротвердость, зона входа резца, зона выхода резца, обработанная поверхность, упрочнение.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронцов, А.Л. Теория и расчёты процессов обработки металлов давлением: / А.Л. Воронцов. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. - 396 с.

2. Волкова, А.Н. Взаимосвязь между изменением условий прерывистого резания, структурой и микротвёрдостью срезаемых слоёв / Волкова А.Н., Торопцева Е.Л., Амбросимов С.К. и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2013. №3 (299). С. 61 – 65.

3. Матюнин, А.Г. Влияние параметров режимов резания на изменение структуры и свойств очага деформации инструментальных сталей / Матюнин А. Г., Торопцева Е.Л., Большаков А.Н. и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2016. №2 (316). С. 106 – 111.

4. Кожевников, Д.В. Резание материалов: Учебник для студентов высших учебных заведений / Кожевников Д.В., Кирсанов С.В. - М.: Машиностроение. 2007. 304 с.

5. Чигодаев, Н.Е. Повышение стойкости твердосплавных протяжек на основе уменьшения выкрашивания зубьев в краевой зоне обрабатываемой детали/ Н.Е. Чигодаев Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Пермь. 2007. 139 с.

Елецкий государственный университет (ЕГУ им. И.А. Бунина), г. Елец
Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологических процессов в машиностроении и агроинженерии
Тел. 8-951-305-36-62
E-mail: atbasarets@mail.ru

Липецкий государственный технический университет, г. Липецк
Кандидат технических наук, доцент кафедры физического металловедения
Тел. 8-910-350-59-09
E-mail: e.toroptseva@gmail.com

Липецкий государственный технический университет, г. Липецк
Магистр
Тел. 8-950-805-72-24
E-mail: svetusey@mail.ru

Матюнин Андрей Геннадьевич
Липецкий государственный технический университет, г. Липецк
Магистр, аспирант кафедры физического металловедения
Тел. 9-904-686-01-46
E-mail: faitmarik@bk.ru

Косинова Ольга Анатольевна
Липецкий государственный технический университет, г. Липецк
Старший преподаватель кафедры физического металловедения
Тел. 8-904-689-71-26
E-mail: kosinova64@yandex.ru

Василенко Юрий Валерьевич
Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орёл
Кандидат технических наук, доцент, директор Технопарка
Тел. 8-920-285-60-42
E-mail: vyuv-post@yandex.ru

A.N. BOLSHAKOV, E.L. TOROPTSEVA, S.A. DVURECHENSKAYA,
A.G. MATYNIN, O.A. KOSINOVA, Y.V. VASILENKO

INFLUENCE OF PARAMETERS OF CUTTING REGIMES ON HARDENING OF STEEL X PROCESSED SURFACE

Abstract. *Influence of cutting regimes on hardening of treated surface of steel X on sites, which are relevant to an edge zone, was carried out in this study, also it was compared with hardening surface of shavings near the cutter which was received from steel X with the equal processing regimes.*

Keywords: *microhardness, cutter input zone, cutter output zone, treated surface, hardening.*

BIBLIOGRAPHY

1. Vorontsov, A.L. Teoriya i raschoty protsessov obrabotki metallov davleniyem: / A.L. Vorontsov. - M.: Izdvo MGTU im. N. E. Baumana, 2014. - 396 s.
2. Volkova, A.N. Vzaimosvyaz mezhdru izmeneniyem usloviy preryvistogo rezaniya, strukturov i mikrotvordostyu srezavemykh sloyov / Volkova A.N., Toroptseva Ye.L., Ambrosimov S.K. i dr. // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2013. №3 (299). S. 61 – 65.
3. Matyunin, A.G. Vliyaniye parametrov rezhimov rezaniya na izmeneniye struktury i svoystv ochaga deformatsii instrumentalnykh staley / Matyunin A.G., Toroptseva Ye.L., Bolshakov A.N. i dr. // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2016. №2 (316). S. 106 – 111.
4. Kozhevnikov, D.V. Reziyaniye materialov: Uchebnyk dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy / Kozhevnikov D.V., Kirsanov S.V. - M.: Mashinostroveniy. 2007. 304 s.
5. Chigodavev, N.Ye. Povysheniye stoykosti tverdosplavnykh protyazhek na osnove umensheniya vykrashivaniya zubey v kravevoy zone obrabatyvayemoy detali/ N.Ye. Chigodayev Dissertatsiya na soiskaniye uchonoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Perm. 2007. 139 s.

Bolshakov Alexey Nikolaevich
Yelets State University(ESU named after Bunin I.A). Elec.
Candidate of Technical Sciences.
Senior lecturer of the department of technological processes in Mechanical engineering and agroengineering.
Tel:8951-305-36-62
E-mail: atbasarets@mail.ru

Toroptseva Elena Lvovna
Lipetsk State Technical University. Lipetsk.
Candidate of Technical Sciences.
Assistant Professor of the Department of Physical Metallography
Tel: 8910-350-59-09
E-mail:e.toroptseva@gmail.com

Dvurechenskaya Svetlana Alexandrovna
Lipetsk State Technical University.
Lipetsk.
Master
Tel: 8950-805-72-24
E-mail: svetusey@mail.ru

Matyunin Andrey Gennadievich
Lipetsk State Technical University.
Lipetsk.
Master. Graduate student of the Department of Physical Metallography.
Tel: 8904-686-01-46
E-mail: faitmarik@bk.ru

Kosinova Olga Anatolievna
Lipetsk State Technical University. Lipetsk.
Senior lecturer of the Department of Physical Metallography.
Tel:8904-689-71-26
E-mail: kosinova64@yandex.ru

Vasilenko Yury Valerievich
Orel State University. Orel.
Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor, Director of Technopark.
Tel:8920-285-60-42
E-mail: vyuv-post@yandex.ru

УДК 621.82

Ю.С. КОРНЕЕВ, В.А. ГОРДОН, Е.Н. КОРНЕЕВА

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПУСКОЗАЩИТНЫХ МУФТ

Аннотация. В статье рассматривается комплекс характеристик, позволяющих осуществлять оптимальный разгон технологической машины, что существенно снижает динамические нагрузки на привод, повышает его надежность и долговечность работы.

Ключевые слова: муфта, момент, машина, нагрузка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.С. 418645 (СССР). Центробежная пусковая муфта/Авт. изобрет. Б.Г. Кобцев, В.Н. Коськин.– Заявл. 31.01.72, №1741625/25-27, опублик. 05.03.74.
2. Вильнер, С.С. Теоретические и экспериментальные исследования процесса включения фрикционных муфт.– Труды семинара по теории машин и механизмов: АН СССР, 1950, т. 9, вып. 34.
3. Иванов, Е.А. Муфты приводов. М.: Машгиз, 1959. – 412 с.
4. Кирдяшев, Ю.Н. Экспериментально-теоретическое исследование процесса включения и коэффициентов трения дисковых муфт сцепления при повышенных скоростях скольжения: Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Л.: ЛПИ, 1953. – 16 с.
5. Корнеев, Ю.С. Расчет и проектирование пускозащитной муфты. / Ю.С. Корнеев, Е.Н. Корнеева, Н.А. Играшкина // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - Орел: Госуниверситет – УНПК, № 5(301) 2013.– С. 22 – 26.
6. Поляков, В.С. Муфты. Конструкции и расчет. 4-е изд., исправ. и доп. / В.С. Поляков, И.Д. Барбаш Л.: Машиностроение, 1973. – 336 с.
7. Поляков, В.С. Справочник по муфтам. / В.С. Поляков, И.Д. Барбаш, О.А. Ряховский. - 2-е изд., исправ. и доп. под ред. проф. В.С. Полякова. Л.: Машиностроение, 1979. – 344 с.
8. Совершенствование конструкций и повышение качества эксплуатируемого на заводе оборудования: Отчёт / Орловский филиал ВЗМИ; Руководитель темы В. Н. Коськин. – Инв. № Б895984. – Орёл: 1979. – 103 с.
9. Altman, F.G. Antriebsselemente und mechanische Getriebe. VDI, В. 95, 1953, n. 19.
10. Schleudinger, K. Die Anlaufkupplungen als Mittel zur Automatisierung des Arbeitszyklus und zur Erhöhung der Betriebswirtschaftlichkeit bei Elektromotoren. – Technische Rundschau, 1961, n. 45.
11. Werner, R. Die verzögerte Kupplung-Lösung für viele Antriebsprobleme. Maschinenwelt und Elektrotechnik, 1959.
12. Untersuchung von Kosten beim Einsatz von Anlauf und Sicherheitskupplungen. Getz – Mot – Antriebstelem. 1972, 11 n 1.

Корнеев Юрий Степанович
Орловский государственный
университет им. И.С. Тургенева
Кандидат технических наук,
доцент
302020, Орел, Наугорское шоссе,
29
Тел.: 41-98-96

Гордон Владимир Александрович
Орловский государственный
университет им. И.С. Тургенева,
Доктор технических наук,
профессор, заведующий кафедрой
«Высшая математика»
302020, Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: 41-98-48

Корнеева Елена Николаевна
Орловский государственный
университет им. И.С. Тургенева,
Кандидат технических наук,
доцент
Тел.: 41-98-48

Yu.S. KORNEEV, V.A. GORDON, E.N. KORNEEVA

SPECIFICATION START-PROTECTIVE CLUTCH

Abstract. Describes a set of specifications that enable an optimum technological dispersal machine that dramatically reduces dynamic loadings on a drive, increases its reliability and durability.

Keywords: clutch, moment, machine, workload.

BIBLIOGRAPHY

1. A.S. 418645 (SSSR). Tsentrobezhnaya puskovaya mufta/Avt. izobret. B.G. Kobtsev, V.N. Koskin.– Zayavl. 31.01.72, №1741625/25-27, opubl. 05.03.74.

2. Vilner, S.S. Teoreticheskiye i eksperimentalnyye issledovaniya protsessa vklyucheniya friktsionnykh muft.– Trudy seminarov po teorii mashin i mekhanizmov: AN SSSR, 1950, t. 9, vyp. 34.
3. Ivanov, Ye.A. Mufty privodov. M.: Mashgiz, 1959. – 412 s.
4. Kiryashev, YU.N. Eksperimentalno-teoreticheskoye issledovaniye protsessa vklyucheniya i koeffitsiyentov treniya diskovykh muft stopleniya pri povyshennykh skorostyakh skolzheniya: Avtoref. dis. na soiskaniye uchenoy stepeni kand. tekhn. nauk. – L.: LPI, 1953. – 16 s.
5. Korneyev, YU.S. Raschet i proyektirovaniye puskozashchitnoy mufty. / YU.S. Korneyev, Ye.N. Korneyeva, N.A. Igrashkina // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. - Orel: Gosuniversitet – UNPK, № 5(301) 2013.– S. 22 – 26.
6. Polyakov, V.S. Mufty. Konstruktsii i raschet. 4-ye izd., isprav. i dop. / V.S. Polyakov, I.D. Barbash L.: Mashinostroyeniye, 1973. – 336 s.
7. Polyakov, V.S. Spravochnik po muftam. / V.S. Polyakov, I.D. Barbash, O.A. Ryakhovskiy. - 2-ye izd., isprav. i dop. pod red. prof. V.S. Polyakova. L.: Mashinostroyeniye, 1979. – 344 s.
8. Sovershenstvovaniye konstruktsiy i povysheniye kachestva ekspluatiruyemogo na zavode oborudovaniya: Otchet / Orlovskiy filial VZMI; Rukovoditel temy V. N. Koskin. – Inv. № B895984. – Orol: 1979. – 103 s.
9. Altman, F.G. Antriebsselemente und mechanische Getriebe. VDI, B. 95, 1953, n. 19.
10. Schleudinger, K. Die Anlaufkupplungen als Mittel zur Automatisierung des Arbeitszyklus und zur Erhöhung der Betriebswirtschaftlichkeit bei Elektromotoren. – Technische Rundschau, 1961, n. 45.
11. Werner, R. Die verzögerte Kupplung-Lösung für viele Antriebsprobleme. Maschinenwelt und Elektrotechnik, 1959.
12. Untersuchung von Kosten beim Einsatz von Anlauf und Sicherheitskupplungen. Getz – Mot – Antriebstelem. 1972, 11 n 1.

Korneev Yuri Stepanovich
Oryol State University. I.S. Turgenev,
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor
302020, Orel, Naugorskoe shosse, 29
Phone: 41-98-96

Gordon Vladimir Alexandrovich
Oryol State University. I.S. Turgenev,
Doctor of Technical Sciences,
Professor, Head of the Department
"Higher Mathematics"
302020, Orel, Naugorskoe shosse, 29
Phone: 41-98-48

Korneyeva Elena Nikolaevna
Oryol State University. I.S. Turgenev,
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor
Phone: 41-98-48

УДК 621.774.63+539.374

С.И. ВДОВИН, А.И. ЗАЙЦЕВ, Н.В. ТАТАРЧЕНКОВ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ГИБКЕ ТРУБ

Аннотация. *Предлагается концепция начальной стадии образования волн монотонно увеличивающейся высоты, связанной с уменьшающимся радиусом изогнутой оси трубы на основе энергетического подхода. Выравнивание моментов напряжений гибки в различных поперечных сечениях трубы достигается подбором длины волны.*

Ключевые слова: *допустимая высота волны; аппроксимация радиального перемещения; работа внутренних и внешних сил; смещение нейтральной поверхности.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никитин, В. А. Проектирование станков холодной и горячей гибки труб. – СПб.: ОАО «ЦТСС». – 2011. – 236 с.
2. Марьин, Б. Н. Изготовление трубопроводов гидрогазовых систем летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1998. – 400 с.
3. Головлев, В.Д. Расчеты процессов листовой штамповки. Устойчивость формообразования листового металла. – М.: Машиностроение, 1974. – 135 с.
4. Wang, X., and Cao, J. Wrinkling Limit in Tube Bending. – Journal of Engineering Materials and Technology. – October 2001, Volume 123, Issue 4. – pp. 430 – 435.
5. Ju, G. T., and Kyriakides, S. Bifurcation and localization instabilities in cylindrical shells under bending: prediction. – International Journal of Solids and Structures, 29, 1992 No. 9, pp 1143 – 1171.
6. Corona, E., and Vase, S. P., Buckling of Elastic-plastic Square Tubes under Bending. – International Journal of Mechanical Sciences, 38, 1996 No. 7, pp. 753 – 775.
7. Bai, Y., Igländ, R., and Moan, T. – Tube Collapse under Combined Pressure, Tension and Bending. – International Journal of Offshore and Polar Engineering, 1993, Vol. 3(2), pp. 121 – 129.

8. Bai, Y., Igland, R., and Moan, T. – Tube Collapse under Combined Pressure, Tension and Bending. – Journal of Marine Structures, 1997, Vol. 10, № 5, pp. 389 – 410.

Вдовин Сергей Иванович

доктор технических наук,
профессор кафедры
Машиностроения ОГУ им. И.С.
Тургенева;
телефон 8-905-167-0517
E-mail: vdovostu@mail.ru

Зайцев Алексей Иванович

ассистент кафедры
Машиностроения ОГУ им. И.С.
Тургенева.
телефон 8-930-863-1248
E-mail: alivz@rambler.ru

Татарченков Николай Владимирович

ассистент кафедры Машиностроения ОГУ
им. И.С. Тургенева.
телефон 8-920-287-8981
E-mail: koltat72@mail.ru

S.I. VDOVIN, A.I. ZAITSEV, N.V. TATARCHENKOV

MATHEMATICAL MODELING OF WAVE GENERATION FOR TUBE BENDING

Abstract. *The concept of the initial stage of formation of waves of monotonically increasing height associated with the decreasing radius of the bent axis of the tube on the basis of the energy approach is proposed. Equalizing the moments of bending stresses in different cross sections of the pipe is achieved by selecting the wavelength.*

Keywords: *allowable wave height; approximation for radial movement; the work of internal and external forces; the shift of the neutral surface.*

BIBLIOGRAPHY

1. Nikitin, V. A. Proektirovanie stankov kholodnoy i goryachey gibki trub. – SPb.: OAO «CzTSS». – 2011. – 236 s.
2. Marin, B. N. Izgotovlenie truboprovodov gidrogazovykh sistem letatelnykh apparatov. – M.: Mashinostroenie, 1998. – 400 s.
3. Golovlev, V.D. Raschety processov listovoy shtampovki. Ustoychivost formoobrazovaniya listovogo metalla. – M.: Mashinostroenie, 1974. – 135 s.
4. Wang, X., and Cao, J. Wrincing Limit in Tube Bending. – Journal of Engineering Materials and Technology. – October 2001, Volume 123, Issue 4. – pp. 430 – 435.
5. Ju, G. T., and Kyriakides, S. Bifurcation and localization instabilities in cylindrical shells under bending: prediction. – International Journal of Solids and Structures, 29, 1992 No. 9, pp 1143 – 1171.
6. Corona, E., and Vase, S. P., Buckling of Elastic-plastic Square Tubes under Bending. – International Journal of Mechanical Sciences, 38, 1996 No. 7, pp. 753 – 775.
7. Bai, Y., Igland, R., and Moan, T. – Tube Collapse under Combined Pressure, Tension and Bending. – International Journal of Offshore and Polar Engineering, 1993, Vol. 3(2), pp. 121 – 129.
8. Bai, Y., Igland, R., and Moan, T. – Tube Collapse under Combined Pressure, Tension and Bending. – Journal of Marine Structures, 1997, Vol. 10, № 5, pp. 389 – 410.

Vdovin Sergey Ivanovich

doctor of technical. Sci., Professor of
the Department of Mechanical
Engineering of the Omsk State
University. I.S. Turgenev;
phone 8-905-167-0517
E-mail: vdovostu@mail.ru

Zaitsev Alexey Ivanovich

Assistant of the Department of
Mechanical Engineering of the
OSU. I.S. Turgenev.
phone 8-930-863-1248
E-mail: alivz@rambler.ru

Tatarchenkov Nikolay Vladimirovich

Assistant of the Department of
Mechanical Engineering of the OSU.
I.S. Turgenev.
phone 8-920-287-8981
E-mail: koltat72@mail.ru

МАШИНОВЕДЕНИЕ И МЕХАТРОНИКА

УДК 62-762.6:681.51(62-135)

Р.Н. ПОЛЯКОВ, Л.А. САВИН, А.В. ВНУКОВ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БЕСКОНТАКТНОГО ПАЛЬЧИКОВОГО УПЛОТНЕНИЯ С АКТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ЗАЗОРОМ

Аннотация. В статье рассматриваются основные аспекты разработки математической модели бесконтактного пальчикового уплотнения с активным управлением зазором. Представлена расчетная схема бесконтактного пальчикового уплотнения, базовые уравнения гидродинамической теории смазки, обоснован выбор начальных и граничных условий. Представлены результаты вычислительных экспериментов по влиянию активного управления зазором на расходные и энергетические характеристики опорного узла. Обоснованы преимущества активного управления в бесконтактных уплотнениях.

Ключевые слова: ротор, бесконтактное уплотнение, расход газа, активное управление.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ №16-19-00186 «Планирование оптимальных по расходу энергии траекторий движения роторов мехатронных модулей в средах сложной реологии».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Non-contacting Finger Seal Developments and Design Considerations: Thermo-fluid and Dynamics Characterization, Experimental / M.J. Braun, H.M. Pierson, D. Deng [et al] // NASA/CP-2005-213655/V.1, - pp. 181-208.
2. Дзева, И.Ю. Математическое моделирование работы бесконтактного пальчикового уплотнения турбомшины дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. (05.13.18, 01.02.06) / Дзева Иван Юрьевич; Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана. - Москва, 2015. - 164 с.
3. Steinetz, B.M., Hendricks, R.C., and Munson, J., "Advanced Seal Technology Role in Meeting Next Generation Turbine Engine Goals," NASA TM-1998-206961, April 1998.
4. Marie, H., "A Study of Non-Contacting Passive-Adaptive Turbine Finger Seal Performance, Volume 1," Ph.D Dissertation, University of Akron, Akron, OH, 2005.
5. Савин, Л.А. Мехатронные уплотнения вращающихся машин / Л.А. Савин, Р.Н. Поляков, А.И. Панченко, А.В. Внуков // Фундаментальные проблемы техники и технологии. – 2017. - № 6(326). - С. 96-104.
6. Stability Enhancement of High-speed Rotors on Foil Bearings with the Automatic Mode Switch - Procedia Engineering: 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016). Volume 150, 2016, Pages 271–276. A. Sytin, V. Tyurin, S. Antonov.
7. Савин, Л.А. Моделирование роторных систем с подшипниками жидкостного трения / Л. А. Савин, О. В. Соломин. – Москва : Машиностроение-1, 2006. – 444 с.

Поляков Роман Николаевич
ФГБОУ ВО «Орловский
государственный университет им.
И.С. Тургенева», г. Орёл
Канд. техн. наук, доцент, доцент
кафедры «Мехатроника и
международный инжиниринг»,
E-mail: romanpolak@mail.ru

Савин Леонид Алексеевич
ФГБОУ ВО «Орловский
государственный университет им.
И.С. Тургенева», г. Орёл
Д-р техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой
«Мехатроника и международный
инжиниринг»

Алексей Васильевич Внуков
ФГБОУ ВО «Орловский
государственный университет им.
И.С. Тургенева», г. Орёл
Студент гр. 61-МХм, стажер-
исследователь НОЦ «Мехатроника
и международный инжиниринг»

R.N. POLYAKOV, L.A. SAVIN, A.V. VNUKOV

MATHEMATICAL MODEL OF THE INFLAMMATORY PULLIC SEAL WITH ACTIVE MANAGEMENT OF THE CLEARANCE

Abstract. The present paper considers basic aspects of development of a mathematical model of a non-contacting finger seal with active gap control. A calculation diagram is presented of a contactless hydrodynamic seal along with basic equations of hydrodynamic lubrication theory; choice of initial and boundary conditions is shown and substantiated. Results of numerical tests are presented with emphasis on the influence of active gap control on flow rate and energy characteristics of a bearing. Advantages of application of active control in contactless seals are shown and proven.

Keywords: rotor, non-contact seal, gas flow, active control.

BIBLIOGRAPHY

1. Non-contacting Finger Seal Developments and Design Considerations: Thermofluid and Dynamics Characterization, Experimental / M.J. Braun, H.M. Pierson, D. Deng [it al] // NASA/CP-2005-213655/V.1, - pp. 181-208.
2. Dzeva, I.YU. Matematicheskoye modelirovaniye raboty beskontaktnogo pal'chikovogo uplotneniya turbomashiny dis. na. soisk. uchen. step. kand. tekhn. nauk. (05.13.18, 01.02.06) / Dzeva Ivan Yur'yevich; Moskovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet imeni N.E. Baumana. - Moskva, 2015.- 164 s.
3. Steinetz, B.M., Hendricks, R.C., and Munson, J., "Advanced Seal Technology Role in Meeting Next Generation Turbine Engine Goals," NASA TM-1998-206961, April 1998.
4. Marie, H., "A Study of Non-Contacting Passive-Adaptive Turbine Finger Seal Performance, Volume 1," Ph.D Dissertation, University of Akron, Akron, OH, 2005.
5. Savin, L.A. Mekhatronnyye uplotneniya vrashchayushchikhsya mashin / L.A. Savin, R.N. Polyakov, A.I. Panchenko, A.V. Vnukov // Fundamental'nyye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2017. - № 6(326). - S. 96-104.
6. Stability Enhancement of High-speed Rotors on Foil Bearings with the Automatic Mode Switch - Procedia Engineering: 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016). Volume 150, 2016, Pages 271–276. A. Sytin, V. Tyurin, S. Antonov.
7. Savin, L.A. Modelirovaniye rotornykh sistem s podshipnikami zhidkostnogo treniya / L. A. Savin, O. V. Solomin. – Moskva : Mashinostroyeniye-1, 2006. – 444 s.

Polyakov Roman Nikolayevich
FGBOU VO "Orel State University.
I.S. Turgenev, Orel town
Cand. tech. Sci., Associate Professor,
Associate Professor of the
Department of Mechatronics and
International Engineering,
E-mail: romanpolak@mail.ru

Savin Leonid Alekseevich
FGBOU VO "Orel State University.
I.S. Turgenev, Orel town
Dr. Tech. Sciences, Professor,
Head of the Department of
Mechatronics and International
Engineering

Vnukov Alexey Vasilyevich
FGBOU VO "Orel State University.
I.S. Turgenev, Orel town
Student gr. 61-MXМ, trainee
researcher of SEC "Mechatronics and
international engineering"

УДК 004.056

А.П. ЖУК, А.А. ГАВРИШЕВ, Д.Л. ОСИПОВ

К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ ЗАЩИЩЕННОГО УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ РОБОТОВ ПОСРЕДСТВОМ БЕСПРОВОДНОГО КАНАЛА СВЯЗИ

Аннотация. В настоящее время управление роботами обычно осуществляется оператором (сервером) по беспроводным каналам связи, которые подвержены значительным рискам в сфере информационной безопасности. Поэтому, одной из актуальных научных задач в области специальной робототехники является разработка технологий, обеспечивающих защищенную передачу управляющих команд по беспроводному каналу связи. В данной работе авторами предложено техническое решение, основанное на использовании на сервере программируемого постоянного запоминающего устройства уникальных идентификационных данных, в котором хранится таблица уникальных кодовых последовательностей, присваиваемых каждому роботу. За счет этого обеспечивается управление группой роботов. Защита от перехвата и подмены информации в канале связи осуществляется за счет использования перезаписываемых накопителей хаотических последовательностей, а также использования имитовставки. В результате применения данного подхода повышается имитозащищенность передаваемых команд между управляемым роботом и сервером, затрудняется стороннему наблюдателю выявление проверяемого в данный момент времени робота, осуществляется одновременная индивидуальная проверка требуемого робота на подлинность и наличия всех роботов в радиусе связи.

Ключевые слова: беспроводной канал связи, робототехнические комплексы, управление, несанкционированный доступ, имитозащита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жук, А.П. К вопросу о разработке защищенного устройства управления робототехническим комплексом посредством беспроводного канала связи / А.П. Жук, А.А. Гавришев, Д.Л. Осипов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Т. 10. № 12. – С. 4-9.
2. Шевырев, А.В. Анализ устойчивого функционирования робототехнических комплексов нового поколения в условиях преднамеренного воздействия сверхкоротких электромагнитных импульсов / А.В.

- Шевырев, Ю.В. Невзоров, П.Н. Пименов, И.А. Фомина, С.А. Пронин // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. – № 2(175). – С. 240-251.
3. Петров, В.Ф. Задачи группового управления роботами в робототехническом комплексе пожаротушения / В.Ф. Петров, А.И. Терентьев, С.Б. Симонов, Д.Н. Корольков, В.И. Комченков, А.В. Архипкин // Труды СПИИРАН. – 2016. – Вып. 2(45). – С. 116-129.
4. Иванов, Д.Я. Информационный обмен в больших группах роботов / Д.Я. Иванов // Штучный интеллект. – 2010. – № 4. – С. 513-521.
5. Корсунский, В.А. Перспективы развития военных мобильных робототехнических комплексов наземного базирования в России / В.А. Корсунский, В.Н. Наумов // Инженерный журнал: наука и инновации. Электронное научно-техническое издание. – 2012. – Вып. 10. – С. 29–37.
6. Сердюк, П.Е. Средства связи с наземными роботизированными системами: современное состояние и перспективы / П.Е. Сердюк, В.И. Слюсар // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2014. – № 7(139). – С. 66-79.
7. Есипенко, Е.И. О возможности повышения надёжности и дальности дистанционного управления мобильными робототехническими комплексами в сложной радиопомеховой обстановке / Е.И. Есипенко, А.А. Страхолис, В.Т. Олейников, А.Н. Петренко // Системы управления и информационные технологии. – 2014. – Т. 57. № 3.2. – С. 241-244.
8. Страхолис, А.А. Приём сигналов ВИМ-ШПС в системе дистанционного управления робот-оператор / А.А. Страхолис, В.Т. Олейников, А.Н. Петренко // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2013. – Т. 13. № 4. – С. 7-10.
9. Сычев, В.А. Способ централизованного управления группой роботов по общему каналу / В.А. Сычев // Международная научно-техническая конференция, приуроченная к 50-летию МРТИ — БГУИР, (Минск, 18-19 марта 2014 года): материалы конференции: в 2 ч. / [редколлегия: А. А. Кураев и др.]. Минск. – 2014. – Ч. 1. – С. 304-305.
10. Gulyaev, Y.V. Interaction and navigation of robots based on ultrawideband direct chaotic communication / Y.V. Gulyaev, A.S. Dmitriev, V.A. Lazarev, T.I. Mokhseni, M.G. Popov // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2016. – V. 61. No. 8. – Pp. 894-900.
11. Жук, А.П. Способ сокрытия факта проверки на подлинность охранных датчиков / А.П. Жук, Д.Л. Осипов, А.А. Гавришев, В.А. Бурмистров // Информационные технологии. Проблемы и решения. – 2015. – № 1-2 (2). – С. 308-311.

Жук Александр Павлович
 ФГАОУ ВО «СКФУ», г.
 Ставрополь
 Кандидат технических наук,
 профессор кафедры ОТЗИ
 355009, г. Ставрополь, ул.
 Пушкина, 1
 Тел. 8 (8652) 95-68-08
 E-mail: alekszhuk@mail.ru

Гавришев Алексей Андреевич
 ФГАОУ ВО «СКФУ», г.
 Ставрополь
 аспирант кафедры ОТЗИ
 355009, г. Ставрополь, ул.
 Пушкина, 1
 Тел. 8 (8652) 95-68-08
 E-mail: alexxx.2008@inbox.ru

Осипов Дмитрий Леонидович
 ФГАОУ ВО «СКФУ», г.
 Ставрополь
 Кандидат технических наук,
 доцент кафедры ПМиКБ
 355009, г. Ставрополь, ул.
 Пушкина, 1
 Тел. 8 (8652) 95-68-08
 E-mail: DmtrOsipov@yandex.ru

A.P. ZHUK, A.A. GAVRISHEV, D.L. OSIPOV

TO THE QUESTION ABOUT THE DEVELOPMENT OF A SECURE CONTROL DEVICE A GROUP OF ROBOTS THROUGH A WIRELESS COMMUNICATION CHANNEL

Abstract. *Currently, the robot control is usually performed by the operator (the server) over wireless communication channels, which are subject to significant risks in the sphere of information security. Therefore, one of the urgent scientific problems in the field of special robotics is the development of technologies that provide secure transmission of control commands via the wireless communication channel. In this paper, the authors propose a technical solution based on the use of the server programmable permanent storage device, unique identifying information, which stores a table of unique code sequences assigned to each robot. This ensures a control of group of robots. Protection from interception and substitution of the information in the communication channel is carried out through the use of rewritable drives chaotic sequences, and the use of protection against imitation. As a result of applying this approach increases protection against imitation of commands transmitted between the controlled robot and the server, the difficult the casual observer identification check at this point in time the robot is simultaneously individual test required the robot to the authenticity and availability of all robots within range.*

Keywords: *wireless communication channel, robotic system, control, unauthorized access, protection against imitation.*

BIBLIOGRAPHY

1. Zhuk, A.P. K voprosu o razrabotke zashhishhennogo ustrojstva upravlenija robototekhnicheskim kompleksom posredstvom besprovodnogo kanala svjazi / A.P. Zhuk, A.A. Gavrishhev, D.L. Osipov // T-Comm: Telekommunikacii i transport. – 2016. – T. 10. № 12. – S. 4-9.
2. Shevyrev, A.V. Analiz ustojchivogo funkcionirovanija robototekhnicheskikh kompleksov novogo pokolenija v uslovijah prednamerennogo vozdeystvija sverhkorotkih jelektromagnitnyh impul'sov / A.V. Shevyrev, Ju.V. Nevzorov, P.N. Pimenov, I.A. Fomina, S.A. Pronin // Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki. – 2016. – № 2(175). – S. 240-251.
3. Petrov, V.F. Zadachi gruppovogo upravlenija robotami v robototekhnicheskom komplekse pozharotushenija / V.F. Petrov, A.I. Terent'ev, S.B. Simonov, D.N. Korol'kov, V.I. Komchenkov, A.V. Arhipkin // Trudy SPIIRAN. – 2016. – Vyp. 2(45). – S. 116-129.
4. Ivanov, D.Ja. Informacionnyj obmen v bol'shix gruppah robotov / D.Ja. Ivanov // Shtuchnij intellekt. – 2010. – № 4. – S. 513-521.
5. Korsunskij, V.A. Perspektivy razvitija voennyh mobil'nyh robototekhnicheskikh kompleksov nazemnogo bazirovanija v Rossii / V.A. Korsunskij, V.N. Naumov // Inzhenernyj zhurnal: nauka i innovacii. Jelektronnoe nauchno-tehnicheskoe izdanie. – 2012. – Vyp. 10. – C. 29–37.
6. Serdjuk, P.E. Sredstva svjazi s nazemnymi robotizirovannymi sistemami: sovremennoe sostojanie i perspektivy / P.E. Serdjuk, V.I. Sljusar // Jelektronika: nauka, tehnologija, biznes. – 2014. – № 7(139). – C. 66-79.
7. Esipenko, E.I. O vozmozhnosti povyshenija nadjozhnosti i dal'nosti distancionnogo upravlenija mobil'nymi robototekhnicheskimi kompleksami v slozhnoj radiopomehovej obstanovke / E.I. Esipenko, A.A. Straholis, V.T. Olejnikov, A.N. Petrenko // Sistemy upravlenija i informacionnye tehnologii. – 2014. – T. 57. № 3.2. – S. 241-244.
8. Straholis, A.A. Prijom signalov VIM-ShPS v sisteme distancionnogo upravlenija robot-operator / A.A. Straholis, V.T. Olejnikov, A.N. Petrenko // Fundamental'nye problemy radiojelektronnogo priborostroenija. – 2013. – T. 13. № 4. – S. 7-10.
9. Sychev, V.A. Sposob centralizovannogo upravlenija gruppoj robotov po obshhemu kanalu / V.A. Sychev // Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija, priurochennaja k 50-letiju MRTI — BGUIR, (Minsk, 18-19 marta 2014 goda): materialy konferencii: v 2 ch. / [redkollegija: A. A. Kuraev i dr.]. Minsk. – 2014. – Ch. 1. – S. 304-305.
10. Gulyaev, Y.V. Interaction and navigation of robots based on ultrawideband direct chaotic communication / Y.V. Gulyaev, A.S. Dmitriev, V.A. Lazarev, T.I. Mokhseni, M.G. Popov // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2016. – V. 61. No. 8. – Pp. 894-900.
11. Zhuk, A.P. Sposob sokrytija fakta proverki na podlinnost' ohrannyh datchikov / A.P. Zhuk, D.L. Osipov, A.A. Gavrishhev, V.A. Burmistrov // Informacionnye tehnologii. Problemy i reshenija. – 2015. – № 1-2 (2). – S. 308-311.

Zhuk Aleksandr Pavlovich
NCFU, Stavropol
Ph.D., professor
355009, Stavropol, Pushkin Street, 1
Ph.: +7(8652) 95-68-08
E-mail: alekszhuk@mail.ru

Gavrishhev Aleksej Andreevich
NCFU, Stavropol
Ph.D. Student
355009, Stavropol, Pushkin Street, 1
Ph.: +7(8652) 95-68-08
E-mail: alexxx.2008@inbox.ru

Osipov Dmitrij Leonidovich
NCFU, Stavropol
Ph.D. Student
355009, Stavropol, Pushkin Street, 1
Ph.: +7(8652) 95-68-08
E-mail: DmtrOsipov@yandex.ru

УДК 621.865.8

А.Ю. АЛЕЙНИКОВ, А.Н. АФОНИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЗМЕЕПОДОБНОГО РОБОТА ДЛЯ ИНСПЕКЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ ОТКАЗА ЗВЕНЬЕВ

Аннотация. Змееподобные роботы являются одними из перспективных устройств для инспекции трубопроводов. Однако, большинство из существующих змееподобных роботов не способны реализовать компенсаторное поведение при повреждениях. В случае выполнения диагностической задачи непосредственно в трубе под землей это может привести к необходимости проведения дорогостоящих мероприятий по эвакуации застрявшего устройства. В результате проведенных работ разработаны алгоритмы компенсации возможных поломок звеньев, реализующиеся после сравнения реальных углов поворота звена с теоретическими. Полученные результаты будут использованы при проектировании змееподобного диагностического устройства с возможностью безотказной работы в аварийном режиме в результате получения повреждений звеньев.

Ключевые слова: змееподобный робот, надежность, отказ, диагностика трубопроводов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках гранта № 16-38-00612.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Haiming, Q. Tracing and localization system for pipeline robot / Q. Haiming, Z. Xiaohua, C. Hongjun, Ye. Jinrui // *Mechatronics*, 19. – 2009. – PP. 76–84.
2. Иванов, А.А. Экспериментальное исследование змеевидного робота «Змеелок – 3» / А.А. Иванов, О.А. Шмаков, Д.А. Демидов // *Научно-технические ведомости СПбГТУ*. – 2013. – Вып. 1. – С. 132-138.
3. Яцун, А.С. Экспериментальное исследование движения трехзвенного робота по шероховатой поверхности / А.С. Яцун // *Известия ЮЗГУ*. – 2012. – № 1. – С. 24-29.
4. Antoine, C. Robots that can adapt like natural animals / C. Antoine, J. Clune, J.-B. Moure // *Nature*. – 2015. – Vol. 521. – PP. 503–507.
5. Алейников, А.Ю. Моделирование механики мобильного робота для инспекции трубопроводов / А.Ю. Алейников, А.Н. Афонин, А.Р. Гладышев, М.А. Ситникова // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2016. – №6(320). – С. 18-22.
6. Алейников, А.Ю. Реализация конструкции автономного мобильного змееподобного робота / А.Ю. Алейников, А.Н. Афонин, А.Р. Гладышев, А.Д. Новосельцев // *Труды международной научно-технической конференции «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»*. СПб. – 2015 – С. 250-253.
7. Aleynikov, A.U. Modeling of Serpentine Device Mechanics for Pipeline Inspection [Text] / A.U. Aleynikov, A.N. Afonin, M.A. Sitnikova, A.R. Gladishev, A.V. Popova // *Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2017. – Vol. 12, Issue 4. – PP. 1009-1012.
8. Conkur, E. Path planning algorithm for snake-like robots / E. Conkur // *Journal of information technology and control*. – 2008. – Vol. 37, № 2
9. Будько, И.А. Задачи механики змееподобных роботов / И.А. Будько, А.Н. Волков, И.Б. Челпанов // *Научно-технические ведомости СПбГПУ, серия «Наука и образование»*. – 2011. – № 3(130). – С. 91-97.
10. Шахинпур, М. Курс робототехники / М. Шахинпур. – М.: Мир, 1990. – 527 с.
11. Hirose, S. *Biologically Inspired Robots (Snake-like Locomotor and Manipulator)* / S. Hirose. – Oxford University Press, 1987.

Алейников Андрей Юрьевич
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный
национальный исследовательский университет»
старший преподаватель кафедры материаловедения и
нанотехнологий
308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
Тел. : (4722) 30-18-28
E-mail: aleinikov@bsu.edu.ru

Афонин Андрей Николаевич
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный
национальный исследовательский университет»
Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры
материаловедения и нанотехнологий
308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
Тел. : (4722) 30-18-28
E-mail: afonin@bsu.edu.ru

A.YU. ALEINIKOV, A.N. AFOLIN

INVESTIGATION OF CONDUCT SNAKE-LIKE ROBOTS FOR INSPECTION OF PIPELINES IN THE FAILURE OF LINKS

Abstract. *Snake-like robots are one of the promising devices for pipeline inspection. However, most of the existing snake-like robots are not able to implement compensatory damage behavior. If a diagnostic task is performed directly in a pipe under the ground, this can lead to the need for expensive measures to evacuate the jammed device. As a result of the work carried out, algorithms for compensating possible breakdowns of links were developed, realizing after comparing the actual rotation angles of the link with the theoretical ones. The results obtained will be used in the design of the snake-like diagnostic device with the possibility of trouble-free operation in emergency mode as a result of damage to the links.*

Keywords: *snake-like robot, reliability, failure, diagnostics of pipelines.*

BIBLIOGRAPHY

1. Haiming, Q. Tracing and localization system for pipeline robot / Q. Haiming, Z. Xiaohua, C. Hongjun, Ye. Jinrui // *Mechatronics*, 19. – 2009. – PP. 76–84.
2. Ivanov, A.A. Экспериментальное исследование змеевидного робота «Змеелок – 3» / А.А. Иванов, О.А. Шмаков, Д.А. Демидов // *Научно-технические ведомости СПбГТУ*. – 2013. – Вып. 1. – С. 132-138.

3. YAcun, A.S. i dr. EHksperimentalnoe issledovanie dvizheniya trekhzvennogo robota po sherohevatoj poverhnosti / A.S. YAcun // Izvestiya YUZGU. – 2012. – № 1. – S. 24-29.
4. Antoine, C. Robots that can adapt like natural animals / C. Antoine, J. Clune, J.-B. Moure // Nature. – 2015. – Vol. 521. – PP. 503–507.
5. Alejnikov, A.YU. Modelirovanie mekhaniki mobilnogo robota dlya inspekcii truboprovodov / A.YU. Alejnikov, A.N. Afonin, A.R. Gladyshev, M.A. Sitnikova // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2016. – № 6(320). – S. 18-22.
6. Alejnikov, A.YU. Realizaciya konstrukcii avtonomnogo mobilnogo zmeepodobnogo robota / A.YU. Alejnikov, A.N. Afonin, A.R. Gladyshev, A.D. Novoselcev // Trudy mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii «EHKSTREMALNAYA ROBOTOTEKHNIKA». SPb. – 2015 – S. 250-253.
7. Aleynikov, A.U. Modeling of Serpentine Device Mechanics for Pipeline Inspection / A.U. Aleynikov, A.N. Afonin, M.A. Sitnikova, A.R. Gladishev, A.V. Popova // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 12, Issue 4. – PP. 1009-1012.
8. Conkur, E. Path planning algorithm for snake-like robots / E. Conkur // Journal of information technology and control. – 2008. – Vol. 37, №2
9. Budko, I.A. Zadachi mekhaniki zmeepodobnyh robotov / I.A. Budko, A.N. Volkov, I.B. CHelpanov // Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU, seriya «Nauka i obrazovanie». – 2011. – № 3(130). – S. 91-97.
10. SHahinpur, M. Kurs robototekhniki / M. SHahinpur. – M.:Mir, 1990. – 527 s.
11. Hirose, S. Biologically Inspired Robots (Snake-like Locomotor and Manipulator) / S. Hirose. – Oxford University Press, 1987.

Aleinikov Andrey Yurievich

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod National Research University»
Without a degree, senior lecturer of the Department of Materials Science and Nanotechnology
308015, Belgorod, str. Pobedy, 85
Tel.: +7(4722) 30-18-28
E-mail: aleinikov@bsu.edu.ru

Afonin Andrei Nikolaevich

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod National Research University»
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Materials Science and Nanotechnology
308015, Belgorod, str. Pobedy, 85
Tel.: +7(4722) 30-18-28
E-mail: afonin@bsu.edu.ru

УДК 621.52.011

И.В. НАДЕЖДИН, А.А. МОЛЧАНОВ

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ПРИВОДЫ МЕХАТРОННЫХ ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СБОРОЧНЫХ СИСТЕМ

Аннотация. В статье приведены результаты исследований динамических характеристик энергоэффективных приводов загрузочных устройств автоматизированных сборочных систем, включающих циклодальные механизмы с рекуперацией энергии, на основе математического моделирования с учетом упругих свойств привода и экспериментальных исследований.

Ключевые слова: автоматизированные сборочные системы, загрузочные устройства, рекуперативный привод, динамика, математическое моделирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козырев, Ю.Г. Промышленная робототехника, мехатроника и проблемы автоматизации сборочных операций / Ю.Г. Козырев // Сборка в машиностроении и приборостроении. – 2006. – № 2. – С. 16-24.
2. Безъязычный, В.Ф. Сравнительная оценка кинематических характеристик механизмов вспомогательного оборудования автоматизированного сборочного производства / В.Ф. Безъязычный, И.В. Надеждин // Сборка в машиностроении и приборостроении. – 2007. – № 5. – С. 3-13.
3. Безъязычный, В.Ф. Повышение производительности автоматизированной сборки за счет увеличения быстродействия транспортно-загрузочного оборудования / В.Ф. Безъязычный, И.В. Надеждин // Сборка в машиностроении и приборостроении. – 2007. – № 4. – С. 6 – 11.

4. Надеждин, И.В. Высокодинамичные механизмы вспомогательных операций автоматизированных сборочных производств / И.В. Надеждин. – М.: Машиностроение, 2008. – 270 с.
5. Надеждин, И.В. Исполнительные механизмы цикловых машин-автоматов и мехатронных систем / И.В. Надеждин. – Изд.: LAP LAMBERT Academic Publishing, Deutschland, 2015.– 280 с.
6. Жавнер, В.Л. Рекуперативные приводы для цикловых перемещений / В.Л. Жавнер, О.Н. Мацко, М.В. Жавнер. – Изд.: Saarbrücken, Deutschland: Palmarium Academic Publishing, 2014. – 100 с.
7. Корендяев, А.И. Теоретические основы робототехники В 2 кн.; отв. Ред. Каплунов С.М. / А.И. Корендяев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес.– М., 2006. –383+376 с.
8. Тывес, Л.И. Механизмы робототехники: Концепция развязок в кинематике, динамике и планировании движений / Л.И. Тывес. – М.: ЛЕНАРД, 2014. – 208 с.
9. Надеждин, И.В., Молчанов А.А. Поворотное устройство. Патент 144750 Российская Федерация, Бюл. № 24, 2014. – 3 с.
10. Пат. 2304242 Российская федерация. МПК F16H27/06. Поворотное устройство / Надеждин И.В. заявл. 10.01.2006; опубл. 10.08.2007.
11. Дэбни, Дж. Б. Simulink® 4. Секреты мастерства / Дж. Б. Дэбни, Т.Л. Харман; пер. с англ. М. Л. Симонов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003.– 403 с.
12. Нахапетян, Е.Г. Диагностирование оборудования гибкого автоматизированного производства / Е.Г. Нахапетян. – М.: Наука. 1985.– 225 с.

Надеждин Игорь Валентинович

Рыбинский государственный
авиационный технический
университет имени П.А. Соловьева,
г. Рыбинск, ул. Пушкина, 53
доктор технических наук, заведующий кафедрой
«Прикладная механика»
тел. 8-4855-222-136
E-mail: nadezhdin@rsatu.ru

Молчанов Александр Алексеевич

ООО «Завод дорожных машин»
ведущий инженер-конструктор
г. Рыбинск, ул. Пилоставная, 12
Раб. тел. (4855) 59-54-53
моб. +7 (915) 977-08-63
E-mail: molchanov.aleksander@gmail.com

I.V. NADEZH DIN, A.A. MOLCHANOV

**ENERGY-EFFICIENT MECHATRONIC DRIVES LOADING DEVICE
FOR AUTOMATED ASSEMBLY SYSTEMS**

Abstract. *The results of dynamic characteristics of energy-efficient loading devices with regenerative spring engine of the automation assembly systems is provided in article on the basis of computer simulation and experimental investigation taking into account elastic properties of the spring drive and executive links.*

Keywords: *assembling, automation, loading cycloidal devices, regenerative spring engine, dynamic models, mathematical modeling, productivity.*

BIBLIOGRAPHY

1. Kozypev, YU.G. Promyshlennaya robototekhnika, mekhatronika i problemy avtomatizacii sborochnyh operacij / YU.G. Kozyrev // Sbornik v mashinostroenii i priborostroenii. – 2006. – № 2. – S. 16-24.
2. Bezyazychnyj, V.F. Sravnitel'naya ocenka kinematicheskikh harakteristik mekhanizmov vspomogatelnogo oborudovaniya avtomatizirovannogo sborochnogo proizvodstva / V.F. Bezyazychnyj, I.V. Nadezhdin // Sbornik v mashinostroenii i priborostroenii. – 2007. – № 5. – S. 3-13.
3. Bezyazychnyj, V.F. Povyshenie proizvoditel'nosti avtomatizirovannoj sborki za schet uvelicheniya bystrodejstviya transportno-zagruzochnogo oborudovaniya / V.F. Bezyazychnyj, I.V. Nadezhdin // Sbornik v mashinostroenii i priborostroenii. – 2007. – № 4. – S. 6 – 11.
4. Nadezhdin, I.V. Vysokodinamichnye mekhanizmy vspomogatelnyh operacij avtomatizirovannyh sborochnyh proizvodstv / I.V. Nadezhdin. – М.: Mashinostroenie, 2008. – 270 с.
5. Nadezhdin, I.V. Ispolnitelnye mekhanizmy ciklovyh mashin-avtomatov i mekhatronnyh sistem / I.V. Nadezhdin. – Изд.: LAP LAMBERT Academic Publishing, Deutschland, 2015.– 280 с.
6. Zhavner, V.L. Rekuperativnye privody dlya ciklovyh peremeshchenij / V.L. Zhavner, O.N. Macko, M.V. Zhavner. – Изд.: Saarbrücken, Deutschland: Palmarium Academic Publishing, 2014. – 100 с.
7. Korendyasev, A.I. Teoreticheskie osnovy robototekhniki V 2 kn.; отв. Red. Kaplunov S.M. / A.I. Korendyasev, B.L. Salamandra, L.I. Tyves.– М., 2006. –383+376 с.
8. Tyves, L.I. Mekhanizmy robototekhniki: Konceptiya razvyazok v kinematike, dinamike i planirovanii dvizhenij / L.I. Tyves. – М.: ЛЕНАРД, 2014. – 208 с.
9. Nadezhdin, I.V., Molchanov A.A. Povоротное ustrojstvo. Patent 144750 Rossijskaya Federaciya, Byul. № 24, 2014. – 3 с.

10. Pat. 2304242 Rossijskaya federaciya. MPK F16H27/06. Povоротное ustrojstvo / Nadezhdin I.V. zayavl. 10.01.2006; opubl. 10.08.2007.

11. Dehbni, Dzh. B. Simulinnk® 4. Sekrety masterstva / Dzh. B. Dehbni, T.L. Harman; per. s angl. M. L. Simonov.– M.: BINOM. Laboratoriya znanij, 2003.– 403 s.

12. Nahapetyan, E.G. Diagnostirovanie oborudovaniya gibkogo avtomatizirovannogo proizvodstva / E.G. Nahapetyan. – M.: Nauka. 1985.– 225 s.

Nadezhdin Igor Valentinovich
P.A. Solovyov Rybinsk State Aviation
Technical University
Rybinsk, Russia
Dr. Techn. Sciences, head of Department
"Applied mechanics
тел. 8-4855-222-136
E-mail: nadezhdin@rsatu.ru

Molchanov Alexander Alekseevich
LLC "Plant of road machines"
leading engineer-designer
Rybinsk, Russia
www.dormashina.ru
tel. (4855) 59-54-53
+7 (915) 977-08-63
E-mail: molchanov.aleksander@gmail.com

УДК 531.391+621.865.8

О.Н. КРАХМАЛЕВ

МЕТОДЫ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ РОБОТОВ

Аннотация. Рассмотрены методы моделирования движения манипуляционных систем роботов, реализованные на основе объектно-ориентированного подхода. Объектно-ориентированный подход реализуется путём выделения в структуре данных и алгоритмов, используемых при моделировании, базовых классов, на основе которых создаются другие более сложные классы, из которых уже непосредственно формируются математические модели. В качестве базовых классов выделены геометрическая и инерционная модели манипуляционных систем. Последующее определение классов, наследующих свойства базовых, позволяет использовать объектно-ориентированный подход при составлении математических моделей манипуляционных систем и программировании алгоритмов, реализующих эти модели. Метод визуального конструирования математических моделей состоит в том, что различные математические модели строятся из отдельных, независимых друг от друга, частей-объектов. Эти части в свою очередь могут состоять из других более простых частей. В основе таких составных частей находятся объекты базовых классов или объекты, наследующие их свойства. Метод целенаправленных структурных мутаций в моделях механизмов позволяет создавать приближённые модели механизмов, в частности манипуляционных систем, путём модификаций их математических моделей. Модификация проводится в некоторых местах структурной схемы математической модели путём замены выбранных объектов на альтернативные им объекты. Применение данного метода позволяет компенсировать влияние случайных факторов, не учитываемых аналитической моделью.

Ключевые слова: моделирование, роботы, манипуляционные системы, динамические модели, объектно-ориентированный подход.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бусленко, Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
2. Погорелов, Д.Ю. Алгоритмы синтеза и численного интегрирования уравнений движения систем тел с большим числом степеней свободы / Д.Ю. Погорелов // VIII Всероссийский съезд по теоретической и прикладной механике. – Пермь, 2001.
3. Вукобратович М. Неадаптивное и адаптивное управление манипуляционными роботами / М. Вукобратович, Д. Стокич, Н. Кирчански. – М.: Мир, 1989. – 376 с.
4. Черноусько Ф.Л., Манипуляционные роботы: динамика, управление, оптимизация / Ф.Л. Черноусько, Н.Н. Болотник, В.Г. Градецкий. – М.: Наука, 1989. – 368 с.
5. Юревич, Е.И. Основы робототехники / Е.И. Юревич. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2010. – 359 с.
6. Подураев, Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение / Ю.В. Подураев. – М.: Машиностроение, 2007. – 256 с.
7. Крахмалев, О.Н. Математическое моделирование динамики манипуляционных систем промышленных роботов и кранов-манипуляторов: монография / О.Н. Крахмалев. – Брянск: БГТУ, 2012. – 200 с.
8. Крахмалев, О.Н. Объектно-ориентированное моделирование динамики манипуляционных систем на основе матриц преобразования однородных координат / О.Н. Крахмалев // Робототехника и техническая кибернетика. – 2017. - №2(15) . – С. 32–36.
9. Косенко, И.И. Применение объектно-ориентированной парадигмы для построения модели динамики систем тел / И.И. Косенко // III Международная Школа-конференция молодых ученых «Нелинейная динамика»: Сборник трудов. – М.: ИМАШ РАН, 2016. – С. 176 –188.
10. Крахмалев, О.Н. Математическое обеспечение систем управления промышленными роботами и многокоординатными станками для коррекции влияния на их движение геометрических отклонений / О.Н.

Крахмалев Олег Николаевич

ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

к.т.н., доцент

Тел.: 8 910 299 56 77

E-mail: olegkr64@mail.ru

O.N. KRAKHMALYEV

METHODS OF OBJECT-ORIENTED SIMULATION OF MANIPULATION SYSTEMS OF ROBOTS

Abstract. *The methods of modeling the movement of robotic manipulation systems, realized on the basis of the object-oriented approach, are considered. The object-oriented approach is realized by isolating the base classes in the data structure and algorithms used in modeling, on the basis of which other more complex classes are created, from which the mathematical models are already directly formed. As the base classes, geometric and inertial models of manipulation systems are distinguished. The subsequent definition of classes that inherit the properties of the basic ones makes it possible to use the object-oriented approach in compiling mathematical models of manipulation systems and programming algorithms that implement these models. The method of visual construction of mathematical models consists in the fact that different mathematical models are constructed from separate, independent from each other, object-parts. These parts, in turn, can consist of other simpler parts. At the heart of such components are the objects of base classes or objects inheriting their properties. The method of targeted structural mutations in the mechanisms models allows creating approximate models of mechanisms, in particular manipulation systems, by modifying their mathematical models. Modification is carried out in some places in the structural diagram of the mathematical model by replacing the selected objects with objects that are alternative to them. The application of this method makes it possible to compensate for the influence of random factors that are not taken into account by the analytical model.*

Keywords: modeling, robots, manipulation systems, dynamic models, object-oriented approach.

BIBLIOGRAPHY

1. Buslenko, N.P. Modelirovaniye slozhnykh sistem / N.P. Buslenko. – M.: Nauka, 1978. – 400 s.
2. Pogorelov, D.YU. Algoritmy sinteza i chislennogo integrirovaniya uravneniy dvizheniya sistem tel s bolshim chislom stepeney svobody / D.YU. Pogorelov // VIII Vserossiyskiy s"yezd po teoreticheskoy i prikladnoy mekhanike. – Perm, 2001.
3. Vukobratovich M. Neadaptivnoye i adaptivnoye upravleniye manipulyatsionnymi robotami / M. Vukobratovich, D. Stokich, N. Kirchanski. – M.: Mir, 1989. – 376 s.
4. Chernousko F.L., Manipulyatsionnyye roboty: dinamika, upravleniye, optimizatsiya / F.L. Chernousko, N.N. Bolotnik, V.G. Gradetskiy. – M.: Nauka, 1989. – 368 s.
5. Yurevich, Ye.I. Osnovy robototekhniki / Ye.I. Yurevich. – Sankt-Peterburg: BKHV-Peterburg, 2010. – 359 s.
6. Podurayev, YU.V. Mekhatronika: osnovy, metody, primeneniye / YU.V. Podurayev. – M.: Mashinostroyeniye, 2007. – 256 s.
7. Krakhmalev, O.N. Matematicheskoye modelirovaniye dinamiki manipulyatsionnykh sistem promyshlennykh robotov i kranov-manipulyatorov: monografiya / O.N. Krakhmalev. – Bryansk: BGTU, 2012. – 200 s.
8. Krakhmalev, O.N. Obyektno-oriyentirovannoye modelirovaniye dinamiki manipulyatsionnykh sistem na osnove matrits preobrazovaniya odnorodnykh koordinat / O.N. Krakhmalev // Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika. – 2017. - №2(15). – S. 32–36.
9. Kosenko, I.I. Primeneniye ob"yektno-oriyentirovannoy paradigmy dlya postroyeniya modeli dinamiki sistem tel / I.I. Kosenko // III Mezhdunarodnaya Shkola-konferentsiya molodykh uchenykh «Nelineynaya dinamika»: Sbornik trudov. – M.: IMASH RAN, 2016. – S. 176–188.
10. Krakhmalev, O.N. Matematicheskoye obespecheniye sistem upravleniya promyshlennymi robotami i mnogokoordinatnymi stankami dlya korrektsii vliyaniya na ikh dvizheniye geometricheskikh otkloneniy / O.N. Krakhmalev, D.I. Petreshin, O.N. Fedonin // Problemy mashinostroyeniya i avtomatizatsii. – 2016. – №3. – S.28–35.

Krakhmalev Oleg Nikolaevich

Bryansk State Technical University

Ph.D., Associate Professor

Ph.:+7 910 299 56 77

E-mail: olegkr64@mail.ru

УДК 622.236.234: 622.232.8

В.Е. КЛИМОВ, Л.С. УШАКОВ, Ю.Н. КАМАНИН

РАЗРАБОТКА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАТРОННОГО ГОРНОПРОХОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С РАБОЧИМ ОРГАНОМ ПЛАНЕТАРНОГО ТИПА

Аннотация. В статье представлены результаты анализа существующих техник и технологий проходческих комбайнов. Обоснована необходимость в разработке компактных проходческих комплексов как мехатронных систем. Предложен новый способ проведения выработки с использованием рабочего органа планетарного типа. Разработана математическая модель равномерного распределения нагрузки на обрабатываемую поверхность забоя, с учетом оптимальных скоростей вращения и частоты ударов. Представлена расчетная схема и математическая модель для исследования кинематики манипуляционной системы рабочего органа.

Ключевые слова: проходческий комплекс, планетарный исполнительный орган, конструктивно-кинематическая схема, оптимальное проектирование, метод последовательного линейного приближения, частота ударов, кинематика манипуляционной системы, ударный способ, математическое моделирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: Указ Президента РФ от 01.12.2016, № 642
2. Белкин, С.Б. Расчет новой конструкции резцедержателей, разработанной ООО «Орловский завод бурового инструмента и оборудования» / С.Б. Белкин, Ю.Н. Каманин, Л.С. Ушаков // Ударно-вибрационные системы, машины и технологии. Материалы 5-го международного научного симпозиума. – 2013. – С. 191-194.
3. Hartman, L.H. Introductory Mining Engineering / L.H. Hartmann, M.J. Mutmansky. – New-Jersey: John Wiley & Sons, 2002 - 570 с.
4. Mendyka, P. Innovative Roadheader Mining Head With Assymetrical Disc Tools / P. Mendyka, K. Kotwica, G. Stopka. – 2016. С. 489-496.
5. Климов, В.Е. Современные тенденции развития проходческой техники для крепких горных массивов / В.Е. Климов, Л.С. Ушаков // Иновации на транспорте и в машиностроении: сборник трудов IV международной научно-практической конференции. – 2016. – Том II. СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет "Горный". – С. 63-68.
6. Климов, В.Е. Импульсные технологии в строительстве / В.Е. Климов, Л.С. Ушаков, А.С. Трубин // Материалы Международной научно-технической конференции. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. – 2016. – С. 137-140.
7. Ушаков, Л.С. Гидравлические машины ударного действия / Л.С. Ушаков, Ю.Е. Котылев, В.А. Кравченко. – М: Машиностроение, 2000. – 416 с.
8. Ушаков, Л.С. Перспективы применения гидроударников в качестве рабочих органов технологических машин / Л.С. Ушаков, Ю.Н. Каманин, Н.Д. Фабричный // Мир транспорта и технологических машин. – 2010 – №4. – С. 91-93.
9. Пат. 2624491 Российская Федерация. Способ проведения горной выработки / Ушаков Л.С. опубл. 04.07.2017.
10. Семенченко, А.К. Системное представление строительно-дорожных машин как мехатронного объекта / А.К. Семенченко, О.Е. Шабаев, Д.А. Семенченко // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2007. – №38. – С.293-295.
11. Подураев, Ю.В. Принципы построения и современные тенденции развития мехатронных систем / Ю.В. Подураев, В.С. Кулешов // Мехатроника. – 2000. – №1. – С. 5-10.
12. Шалобаев, Е.В. К вопросу об определении мехатроники и иерархии мехатронных объектов / Е.В. Шалобаев // Датчики и системы. – 2001. – №7. – С. 64-67.
13. Горбатов, П.А. Концептуальная характеристика сложных горных машин как мехатронных систем / П.А. Горбатов, В.В. Косарев, Н.И. Стадник // Научные труды ДонНТУ-Донецк: ДонНТУ. – 2005. – Вып. 104. – С. 53-61.
14. Климов, В.Е. Выбор определяющих параметров для разработки математической модели разрушения горных пород ударным инструментом таранного типа / В.Е. Климов, Л.С. Ушаков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 10. – С. 100–105
15. Каманин, Ю.Н. Разработка новых технологий проходки туннелей в твердых породах / Ю.Н. Каманин, Л.С. Ушаков // Транспортные системы и технологии. – 2016. – № 4(6). – С. 77-86.
16. Климов, В.Е. Определение величин критериальных уравнений при моделировании процесса разрушения твердых пород инструментом типа «таран» / В.Е. Климов // Фундаментальные и прикладные

проблемы техники и технологии. – 2017. – № 2 (322). – С. 68-72.

17. Byrd, R.H. An Inexact SQP Method for Equality Constrained Optimization / R.H. Byrd, F.E. Curtis, J. Nocedal // SIAM Journal on Optimization. – 2008. – Т. 19. – С. 351.

18. Chalco-Cano, Y. The Karush–Kuhn–Tucker optimality conditions for fuzzy optimization problems / Y. Chalco-Cano, W.A. Lodwick, R. Osuna-Gómez // Fuzzy Optimization and Decision Making. – 2016. – Т. 15. – С. 57-73.

19. Gill, P.E. An SQP Algorithm for Large-Scale Constrained Optimization / P.E. Gill, W. Murray, M.A. Saunders // SIAM Journal on Optimization. – 2002. – Т. 12. – PP. 979-1006.

20. Schittkowski, K. FORTRAN-Subroutine Solving Constrained Nonlinear Programming Problems / K. Schittkowski // Annals of Operations Research. – 1985. – Vol. 5. – С. 485-500.

21. Biggs, M.C. Constrained Minimization Using Recursive Quadratic Programming / M.C. Biggs // Towards Global Optimization/ – 1975/ – PP. 341-349.

22. Han, S.P. A Globally Convergent Method for Nonlinear Programming / S.P. Han // Optimization Theory and Applications. – 1977. – Т. 22. – P. 297.

23. Климов, В.Е. Манипулятор большой несущей способности / В.Е. Климов, Л.С. Ушаков, А.С. Трубин // Сборник научных статей «Вибрационные технологии, мехатроника и управляемые машины» Курск. – 2016. – С. 235-239.

Климов Валерий Евгеньевич
ФГБОУ ВО «Орловский
государственный университет
имени И.С. Тургенева»
ул. Комсомольская д. 95, Орловская
область, г. Орел,
302026, Российская Федерация;
Политехнический институт имени
Н.Н. Поликарпова,
аспирант кафедры «Подъемно-
транспортные, строительные и
дорожные машины»,
+7(909)2281818;
dtk3333@mail.ru.

Ушаков Леонид Семенович
ФГБОУ ВО «Орловский
государственный университет
имени И.С. Тургенева»
ул. Комсомольская д. 95, Орловская
область, г. Орел,
302026, Российская Федерация,
Политехнический институт имени
Н.Н. Поликарпова,
д-р. техн. наук, профессор кафедры
«Подъемно-транспортные,
строительные и дорожные
машины»,
+7(962)4813339;
oushakov2007@mail.ru.

Каманин Юрий Николаевич
ФГБОУ ВО «Орловский
государственный университет
имени И.С. Тургенева»
ул. Комсомольская д. 95, Орловская
область, г. Орел,
302026, Российская Федерация,
Политехнический институт имени
Н.Н. Поликарпова,
доцент кафедры «Подъемно-
транспортные, строительные и
дорожные машины»,
+7(920)2859006;
kamanin277@mail.ru.

V.E. KLIMOV, L.S. USHAKOV, Yu.N. KAMANIN

DEVELOPMENT AND MATHEMATICAL MODELING OF THE MECHATRONIC MINING COMPLEX WITH A WORKING ORGAN OF PLANETARY TYPE

Abstract. *The article presents the results of the analysis of existing techniques and technologies for tunneling. Justified the need to develop a compact tunnel complexes as mechatronic systems. A new method of carrying out production with the use of a working body of the planetary type. The mathematical model for uniform distribution of load on the surface of the mine, taking into account the optimal speed and frequency of strokes. Author presents a design scheme and mathematical model to study the kinematics of the manipulation system of the working body.*

Keywords: *tunnel complex, planetary executive body, constructive-kinematic scheme, optimal design, method of successive linear approximation, frequency of impacts, kinematics of the manipulation system, impact method, mathematical modeling.*

BIBLIOGRAPHY

1. O Strategii nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii: Ukaz Prezidenta RF ot 01.12.2016, № 642
2. Belkin, S.B. Raschet novoj konstrukcii rezcederzhatelej, razrabotannoj OOO «Orlovskij zavod burovogo instrumenta i oborudovaniya» / S.B. Belkin, YU.N. Kamanin, L.S. Ushakov // Udarno-vibracionnye sistemy, mashiny i tekhnologii. Materialy 5-go mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma. – 2013. – С. 191-194.
3. Hartman, L.H. Introductory Mining Engineering / L.H. Hartmann, M.J. Mutmansky. – New-Jersey: John Wiley & Sons, 2002 - 570 s.
4. Mendyka, P. Innovative Roadheader Mining Head With Assymetrical Disc Tools / P. Mendyka, K. Kotwica, G. Stopka. – 2016. S. 489-496.

5. Klimov, V.E. Sovremennye tendencii razvitiya prohodcheskoj tekhniki dlya krepkih gornyh massivov / V.E. Klimov, L.S. Ushakov // Inovacii na transporte i v mashinostroenii: sbornik trudov IV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – 2016. – Tom II. SPb.: Nacionalnyj mineralno-syrevoj universitet "Gornyj". – S. 63-68.
6. Klimov, V.E. Impulsnyye tekhnologii v stroitelstve / V.E. Klimov, L.S. Ushakov, A.S. Trubin // Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii. Nacionalnyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitelnyj universitet. – 2016. – S. 137-140.
7. Ushakov, L.S. Gidravlicheskie mashiny udarnogo dejstviya / L.S. Ushakov, YU.E. Kotylev, V.A. Kravchenko. – M: Mashinostroenie, 2000. – 416 s.
8. Ushakov, L.S. Perspektivy primeneniya gidroudarnikov v kachestve rabochih organov tekhnologicheskikh mashin / L.S. Ushakov, YU.N. Kamanin, N.D. Fabrichnyj // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. – 2010 – №4. – S. 91-93.
9. Pat. 2624491 Rossijskaya Federaciya. Sposob provedeniya gornoj vyrabotki / Ushakov L.S. opubl. 04.07.2017.
10. Semenchenko, A.K. Sistemnoe predstavlenie stroitelno-dorozhnyh mashin kak mekhatronnogo ob"ekta / A.K. Semenchenko, O.E. SHabaev, D.A. Semenchenko // Vestnik Harkovskogo nacionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta. – 2007. – №38. – S.293-295.
11. Poduraev, YU.V. Principy postroeniya i sovremennye tendencii razvitiya mekhatronnyh sistem / YU.V. Poduraev, V.S. Kuleshov // Mekhatronika. – 2000. – №1. – S. 5-10.
12. SHalobaev, E.V. K voprosu ob opredelenii mekhatroniki i ierarhii mekhatronnyh ob"ektov / E.V. SHalobaev // Datchiki i sistemy. – 2001. – №7. – S. 64-67.
13. Gorbatov, P.A. Konceptualnaya harakteristika slozhnyh gornyh mashin kak mekhatronnyh sistem / P.A. Gorbatov, V.V. Kosarev, N.I. Stadnik // Nauchnye trudy DonNTU-Donetsk: DonNTU. – 2005. – Vyp. 104. – S. 53-61.
14. Klimov, V.E. Vybor opredelyayushchih parametrov dlya razrabotki matematicheskoy modeli razrusheniya gornyh porod udarnym instrumentom tarannogo tipa / V.E. Klimov, L.S. Ushakov // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten. – 2017. – № 10. – S. 100–105
15. Kamanin, YU.N. Razrabotka novyh tekhnologij prohodki tunnelej v tverdyh porodah / YU.N. Kamanin, L.S. Ushakov // Transportnye sistemy i tekhnologii. – 2016. – № 4(6). – S. 77-86.
16. Klimov, V.E. Opredelenie velichin kriterialnyh uravnenij pri modelirovanii processa razrusheniya tverdyh porod instrumentom tipa «taran» / V.E. Klimov // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2017. – № 2 (322). – S. 68-72.
17. Byrd, R.H. An Inexact SQP Method for Equality Constrained Optimization / R.H. Byrd, F.E. Curtis, J. Nocedal // SIAM Journal on Optimization. – 2008. – T. 19. – C. 351.
18. Chalco-Cano, Y. The Karush–Kuhn–Tucker optimality conditions for fuzzy optimization problems / Y. Chalco-Cano, W.A. Lodwick, R. Osuna-Gómez // Fuzzy Optimization and Decision Making. – 2016. – T. 15. – C. 57-73.
19. Gill, P.E. An SQP Algorithm for Large-Scale Constrained Optimization / P.E. Gill, W. Murray, M.A. Saunders // SIAM Journal on Optimization. – 2002. – T. 12. – PP. 979-1006.
20. Schittkowski, K. FORTRAN-Subroutine Solving Constrained Nonlinear Programming Problems / K. Schittkowski // Annals of Operations Research. – 1985. – Vol. 5. – C. 485-500.
21. Biggs, M.C. Constrained Minimization Using Recursive Quadratic Programming / M.C. Biggs // Towards Global Optimization/ – 1975/ – PP. 341-349.
22. Han, S.P. A Globally Convergent Method for Nonlinear Programming / S.P. Han // Optimization Theory and Applications. – 1977. – T. 22. – P. 297.
23. Klimov, V.E. Manipulyator bolshoj nesushchej sposobnosti / V.E. Klimov, L.S. Ushakov, A.S. Trubin // Sbornik nauchnyh statej «Vibracionnyye tekhnologii, mekhatronika i upravlyaemye mashiny» Kursk. – 2016. – S. 235-239.

Klimov Valerii Evgenevich

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Orel State University named after I.S. Turgenev»
RU, 302026, Orel,
st.Komsomolskaya, 95
Polytechnic Institute named after N. N. Polikarpov
Postgraduate of the Department of lifting and transport, building and road machines
+7(909)2281818;
dtk3333@mail.ru;

Ushakov Leonid Semenovich

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Orel State University named after I.S. Turgenev»
RU, 302026, Orel,
st.Komsomolskaya, 95
Polytechnic Institute named after N. N. Polikarpov
Ph. D., Professor of the Department of lifting and transport, building and road machines
+7(962)4813339;
oushakov2007@mail.ru.

Kamanin Yurii Nikolaevich

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Orel State University named after I.S. Turgenev»
RU, 302026, Orel,
st.Komsomolskaya, 95
Polytechnic Institute named after N. N. Polikarpov
associate Professor of the Department of lifting and transport, building and road machines
+7(920)2859006;
kamanin277@mail.ru.

УДК- 004.896

Е.А. ЛУКЪЯНОВ, Ю.Б. ИВАЦЕВИЧ, А.Ю. ЗАЙЦЕВ

ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КОМПЕТЕНЦИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ 15.03.06 «МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА»

Аннотация. Введение. Статья посвящена проблемам рационального использования ресурсов высших учебных заведений для подготовки кадров высшей квалификации по двухуровневой системе, в соответствии с требованиями ФГОС. Целями работы являлись обзор и выбор среды виртуального моделирования, легко интегрируемой в образовательный процесс и позволяющей проводить эксперименты в виртуальной среде, которые трудно реализовать на реальном оборудовании. Результаты исследования. Проведён анализ существующих сред моделирования. Осуществлён выбор среды виртуального моделирования для проведения лабораторных работ со студентами.

Ключевые слова: виртуальное моделирование, роботы, мехатроника, робототехника, эмуляторы, симуляция.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов, И.А. Виртуальное моделирование роботов / И.А. Герасимов, Ю.Б. Ивацевич, Е.А. Лукьянов // Международный научно-методический симпозиум: Современные проблемы многоуровневого образования. – Ростов н/Д, 2014. – С. 287-292.
2. Среда разработки Microsoft Robotics Developer Studio [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb648760.aspx>.
3. Симулятор роботов Gazebo [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gazebosim.org/>.
4. Среда разработки Webots [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cyberbotics.com/>.
5. Среда моделирования роботов V-REP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.coppeliarobotics.com/>.
6. Герасимов, И.А. Сборник лабораторных работ по виртуальному моделированию роботов в пакете V-REP [Электронный ресурс] / И.А. Герасимов, Ю.Б. Ивацевич, Е.А. Лукьянов. – ЦДО ДГТУ. – Режим доступа: <http://de.donstu.ru/CDOCourses/620d751f-df91-4606-8c75-897da5a11b2d/2086/1890.pdf>.

Лукьянов Евгений Анатольевич
Донской государственный
технический университет, г.
Ростов-на-Дону
Кандидат технических наук,
доцент, заведующий кафедрой
«Робототехника и мехатроника»
344000, г. Ростов-на-Дону, пл.
Гагарина,1
Тел.: 89526069627
E-mail: alexandr22333@mail.ru

Ивацевич Юрий Борисович
Донской государственный
технический университет, г.
Ростов-на-Дону
Кандидат технических наук,
доцент кафедры «Робототехника и
мехатроника»
344000, г. Ростов-на-Дону, пл.
Гагарина,1
Тел.: 89526069627
E-mail: alexandr22333@mail.ru

Зайцев Александр Юрьевич
Донской государственный
технический университет, г.
Ростов-на-Дону
Ассистент кафедры
«Робототехника и мехатроника»
344058, г. Ростов-на-Дону, пр.
Коммунистический 25/3, кв. 11.
Тел.: 89526069627
E-mail: alexandr22333@mail.ru

E.A. LUKYANOV, Yu.B. IVATSEVICH, A.Yu. ZAITSEV

VIRTUAL MODELING IN THE FORMATION OF COMPETENCIES OF STUDENTS IN THE FIELD 15.03.06. «MECHATRONICS AND ROBOTICS»

Abstract. Introduction. The article is devoted to the issues of rational use of resources of higher educational institutions for the training of highly qualified personnel on a two-tier system, in accordance with the requirements of FSES. The purpose of this work was to review and choice of the virtual modeling environment, easily integrated into the educational process and allowing experiments in a virtual environment that are difficult to implement on real equipment. Results. The analysis of existing modeling environments is carried out. A virtual simulation environment was chosen to conduct laboratory work with students.

Keywords: virtual simulation, robots, mechatronics, robotics, emulators, simulation.

BIBLIOGRAPHY

1. Gerasimov, I.A. Virtualnoe modelirovanie robotov / I.A. Gerasimov, YU.B. Ivacevich, E.A. Lukyanov // Mezhdunarodnyj nauchno-metodicheskij simpozium: Sovremennye problemy mnogourovnevnogo obrazovaniya. – Rostov n/D, 2014. – S. 287-292.
2. Sreda razrabotki Microsoft Robotics Developer Studio [EHlektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb648760.aspx>.
3. Simulyator robotov Gazebo [EHlektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://gazebosim.org/>.
4. Sreda razrabotki Webots [EHlektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.cyberbotics.com/>.
5. Sreda modelirovaniya robotov V-REP [EHlektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.coppeliarobotics.com/>.
6. Gerasimov, I.A. Sbornik laboratornyh rabot po virtualnomu modelirovaniyu robotov v pakete V-REP [EHlektronnyj resurs] / I.A. Gerasimov, YU.B. Ivacevich, E.A. Lukyanov. – CDO DGTU. – Rezhim dostupa: <http://de.donstu.ru/CDOCourses/620d751f-df91-4606-8c75-897da5a11b2d/2086/1890.pdf>.

Lukyanov Eugene Anatolievich
Don State Technical University,
Rostov-on-Don
Candidate of technical Sciences,
associate professor, Head of the
Robotics and mechatronics Department
344000, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1
Tel.: 89526069627
E-mail: alexandr22333@mail.ru

Ivatsevich Yuri Borisovich
Don State Technical University,
Rostov-on-Don
Candidate of technical Sciences,
associate professor of the Robotics and
mechatronics Department
344000, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1
Tel.: 89526069627
E-mail: alexandr22333@mail.ru

Zaitsev Alexandr Yurievich
Don State Technical University,
Rostov-on-Don
assistant of the Robotics and
mechatronics Department
344058, Rostov-on-Don,
Kommunisticheskyy Avenue 25/3, Apt.
11
Tel.: 89526069627
E-mail: alexandr22333@mail.ru

УДК 622

Л.В. ЛУКИЕНКО, В.В. ИСАЕВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗУБЧАТО-РЕЕЧНЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ ШАХТНЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ДЛЯ ВЫБОРА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ

Аннотация. В работе представлен методический подход к моделированию работы привода зубчато-реечных передач, применение которых позволит расширить область применения шахтных электровозов на наклонные пласты с углом падения до 35° . Предложено в качестве дополнительных качественных критериев при проектировании передач использовать коэффициенты скорости и ускорения, для расчёта которых предложены зависимости применительно к передачам с радиусным профилем зуба. Проведена оценка изменения силовых параметров проектируемой передачи в зависимости от её изнашивания. Проведена оценка напряжённо-деформированного состояния контактной зоны передачи.

Ключевые слова: зубчато-реечные движители, моделирование, напряжённо-деформированное состояние, силовые параметры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование и конструирование транспортных машин : Учеб. для вузов. / ред. И.Г. Штокман. – 2-е изд. – М.: Недра, 1986. – 392 с.
2. Пухов, Ю.С. Рудничный транспорт / Ю.С. Пухов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Недра, 1991. – 238 с.
3. Ким, Ю.С. Проектирование с информационной поддержкой в компьютерных средах зубчато-реечного модуля привода подачи рабочего органа станка [Электронный ресурс] / Ю.С. Ким // Молодёжь и наука: Сборник материалов VII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвященной 50-летию первого полета человека в космос. Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2011. – Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2011/section30.html>.
4. Кузнецов, Е.В. Опыт эксплуатации подвесной монорельсовой дороги в условиях шахты ОАО «Разрез Сибиргинский» / Е.В. Кузнецов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2005. – № 4.1. – С. 24-26.
5. Пат. 2482933 С2 Российская Федерация. Зубчато-реечный привод валка стана периодической прокатки труб / Целиков Н.А., Жуков А.А., Филатов А.А. – опубли. 27.05.13, Бюл. № 15.
6. Мирошниченко, О.А. Технологическое обеспечение элементов колёсно-реечных движителей : дис. ... / Мирошниченко Ольга Александровна. – Донецк: ДонНТУ, 2010. – 97 с.
7. Кондрахин, В.П. Электрические механизмы перемещения очистных комбайнов / В.П. Кондрахин, В.В. Косарев, Н.И. Стадник. – Донецк: Технопарк ДонНТУ УНИТЕХ, 2010. – 257 с.

8. Горбатов, П.А. Горные машины для подземной добычи угля / П.А. Горбатов. – Донецк.: Норд Компьютер, 2006. – 669 с.
9. Гавриленко, В. А. Основы теории эвольвентной зубчатой передачи / В. А. Гавриленко. – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1969. – 432 с.
10. Лимаренко, Г.Н. Реечные передаточные механизмы поступательных приводов автоматизированных машин : автореф. дис. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук. / Лимаренко Герольд Николаевич. – Красноярск, 2010. – 34 с.

Лукненко Леонид Викторович

ФГБОУ ВО «Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого», г. Тула
Доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой агроинженерии и техноферной безопасности
300027, г. Тула, Второй проезд металлургов, д. 1а, кв. 32
Тел.: 89534260512
E-mail: lukienko_lv@mail.ru

Исаев Владимир Владимирович

Новомосковский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», г. Новомосковск
Инженер
301665, Тульская область, г. Новомосковск, ул. Дружбы, 8
Тел.: 89534260512
E-mail: lukienko_lv@mail.ru

L.V. LUKIENKO, V.V. ISAEV

SIMULATION OF RACK AND PINION PROPELLERS OF MINE ELECTRIC LOCOMOTIVES FOR SELECTION OF RESOURCE-SAVING PARAMETERS

Abstract. *The paper presents a methodical approach to the simulation of the operation of the drive of rack and pinion gears, the use of which will expand the field of application of mine electric locomotives to inclined reservoirs with an angle of incidence of up to 35°. It is suggested to use the speed and acceleration factors as additional qualitative criteria, for the calculation of which certain dependencies are proposed with respect to transmissions with a radius profile of the tooth. The estimation of the change in the power parameters of the designed transmission is made depending on its wear. The stress-strain state of the contact transmission zone was estimated.*

Keywords: *rack and pinion propellers, modeling, stress-strain state, power parameters.*

BIBLIOGRAPHY

1. Proektirovanie i konstruirovaniye transportnykh mashin : Ucheb. dlya vuzov. / red. I.G. Shtokman. – 2-e izd. – М.: Nedra, 1986. – 392 s.
2. Puhov, YU.S. Rudnichnyy transport / YU.S. Puhov. – 2-e izd. pererab. i dop. – М.: Nedra, 1991. – 238 s.
3. Kim, YU.S. Proektirovanie s informacionnoy podderzhkoy v komp'yuternykh sredakh zubchato-reechnogo modulya privoda podachi rabocheho organa stanka [EHlektronnyy resurs] / YU.S. Kim // Molodyozh' i nau-ka: Sbornik materialov VII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferencii studentov, aspirantov i molo-dykh uchyonykh, posvyashchennoy 50-letiyu pervogo poleta cheloveka v kosmos. Krasnoyarsk: Sibirskiy federal'nyy un-t, 2011. – Rezhim dostupa: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2011/section30.html>.
4. Kuznecov, E.V. Opyt ehkspluatatsii podvesnoy monorel'sovoy dorogi v usloviyakh shahty OAO «Razrez Sibirginskij» / E.V. Kuznecov // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo univer-siteta. – 2005. – № 4.1. – S. 24-26.
5. Pat. 2482933 S2 Rossiyskaya Federaciya. Zubchato-reechnyy privod valka stana periodicheskoy prokatki trub / Celikov N.A., Zhukov A.A., Filatov A.A. – opubl. 27.05.13, Byul. № 15.
6. Miroshnichenko, O.A. Tekhnologicheskoe obespechenie ehlementov kolyosno-reechnykh dvizhitelej : dis. ... / Miroshnichenko Ol'ga Aleksandrovna. – Doneck: DonNTU, 2010. – 97 s.
7. Kondrahin, V.P. EHlektricheskie mekhanizmy peremeshcheniya ochistnykh kombajnov / V.P. Kondrahin, V.V. Kosarev, N.I. Stadnik. – Doneck: Tekhnopark DonNTU UNITEKH, 2010. – 257 s.
8. Gorbatov, P.A. Gornye mashiny dlya podzemnoy dobychi uglya / P.A. Gorbatov. – Doneck.: Nord Komp'yuter, 2006. – 669 s.
9. Gavrilenko, V. A. Osnovy teorii ehvol'ventnoj zubchatoj peredachi / V. A. Gavrilenko. – 2-e izd., pererab. – М.: Mashinostroenie, 1969. – 432 s.
10. Limarenko, G.N. Reechnye peredatochnye mekhanizmy postupatel'nykh privodov avtomatiziro-vannykh mashin : avtoref. dis. na soisk. uchen. step. dokt. tekhn. nauk. / Limarenko Gerol'd Nikolaevich. – Krasnoyarsk, 2010. – 34 s.

Lukienko Leonid Viktorovich

Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University, Tula
Doctor of Technical Sciences, associate professor, Head
of the department «Agroengineering and technospheric
safety»

300027, Tula, Vtoroy proezd metallurgov st., 1a-32

Tel.: 89534260512

E-mail: lukienko_lv@mail.ru

Isaev Vladimir Vladimirovich

Novomoskovsk Institute (branch) of the Federal state
budgetary educational institution of higher education
“Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology
of Russia”, Novomoskovsk

Engineer

301665, Novomoskovsk, Druzhby st., 8

Tel.: 89534260512

E-mail: lukienko_lv@mail.ru

ПРИБОРЫ, БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.865.8, 572.087

А.С. ЯЦУН

ДИНАМИЧЕСКАЯ ХОДЬБА В ЭКЗОСКЕЛЕТЕ

Аннотация. В статье рассматриваются условия устойчивости экзоскелета при динамической ходьбе с использованием теории точки нулевого момента ZMP. Предложена синусоидальная модель движения ZMP и дифференциальные уравнения для определения положения ZMP в зависимости от выбранной скорости движения человека.

Ключевые слова: точка нулевого момента ZMP, динамическая ходьба, центр масс, устойчивость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vukobratović, M. A review of some basic misunderstandings / M. Vukobratović, B. Borovac, V. Potkonjak // International Journal of Humanoid Robotics. – 2011. – 3(02). – pp.153-175.
2. Vukobratović, M. Zero-moment point—thirty five years of its life / M. Vukobratović, B. Borovac // International journal of humanoid robotics. – 2004. – 1(01), pp.157-173.
3. Kajita, S. Biped walking pattern generation by using preview control of zero-moment point. In Robotics and Automation / S. Kajita, F. Kanehiro, K. Kaneko, K. Fujiwara, K. Harada, K. Yokoi, H. Hirukawa // Proceedings. ICRA'03. IEEE International Conference. – 2003. – Vol. 2. – pp. 1620-1626
4. Kajita, S. Biped walking pattern generator allowing auxiliary zmp control. In Intelligent Robots and Systems / S. Kajita, M. Morisawa, K. Harada, K. Kaneko, F. Kanehiro, K. Fujiwara, H. Hirukawa // Robots and Systems, 2006 IEEE/RSJ International Conference. – 2006. – pp. 2993-2999.
5. Park, J. General ZMP preview control for bipedal walking. In Robotics and Automation / J. Park, Y. Youm // 2007 IEEE International Conference. – 2007. – pp. 2682-2687.
6. Wang, G. Biped robot balance control—Based on FRP feedback mechanism and ZMP. In Computer Science & Education / G. Wang // 2013 8th International Conference. – 2013. – pp. 251-254.
7. Shin, H.K. Energy-efficient gait planning and control for biped robots utilizing the allowable ZMP region / H.K. Shin, B.K. Kim. // IEEE Transactions on Robotics. – 2014. – 30(4). – pp.986-993.
8. Yang, H. Fast ZMP and friction force calculation of mobile robot trajectory on uneven trajectory. In Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence / H. Yung, S.Y. Jeon, D. Lee. // 2017 14th International Conference. – 2017. – pp. 884-885.
9. Winkler, A.W. Fast Trajectory Optimization for Legged Robots using Vertex-based ZMP Constraints / A.W. Winkler, F. Farshidian, D. Pardo, M. Neunert, J. Buchli // arXiv preprint arXiv:1705.10313. – 2017
10. Tedrake, R. A closed-form solution for real-time ZMP gait generation and feedback stabilization. In Humanoid Robots / R.A. Tedrake, S. Kuindersma, R. Deits, K. Miura // 2015 IEEE-RAS 15th International Conference. – 2015. – pp. 936-940.
11. Yu, H.F. An Improved ZMP-Based CPG Model of Bipedal Robot Walking Searched by SaDE / H.F. Yu, E.H.K. Fung, X.J. Jing // 2014 ISRN robotics conference. – 2014.
12. Goldbeck, C. Two ways of walking: Contrasting a reflexive neuro-controller and a LIP-based ZMP-controller on the humanoid robot ARMAR-4. In Humanoid Robots / C. Goldbeck, L. Kaul, N. Vahrenkamp, F. Worgotter, T. Asfour, J.M. Braun // 2016 IEEE-RAS 16th International Conference. – 2016. – pp. 966-972.
13. Kajita, S. MP and Dynamics. In Introduction to Humanoid Robotics / S. Kajita, H. Hirukawa, K. Harada, K. Yokoi // Springer Berlin Heidelberg. – 2014. – pp. 69-103

14. Jatsun, S. Motion control algorithm for a lower limb exoskeleton based on iterative LQR and ZMP method for trajectory generation / S. Jatsun, L. Savin, A. Jatsun // International Workshop on Medical and Service Robots. – 2016. – pp. 305-317.

15. Jatsun, S. Adaptive control system for exoskeleton performing sit-to-stand motion / S. Jatsun, L. Savin, A. Jatsun, R. Turlapov // 2015 10th International Symposium Mechatronics and its Applications (ISMA). – 2015. – pp. 1-6.

Яцун Андрей Сергеевич

Юго-Западный государственный университет
Кандидат технических наук, старший преподаватель
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94
Тел. +7 (4712) 22-26-26
E-mail teormeh@inbox.ru

A.S. YATSUN

DYNAMIC WALKING IN THE EXOSKELETON

Abstract. *In the article there are considered the conditions of stability of an exoskeleton during dynamic walking using the theory of zero moment point ZMP. A sinusoidal model of the motion of ZMP is proposed, and differential equations for determining the position of ZMP depending on the chosen speed of movement of the person are proposed.*

Keywords: *zero moment point ZMP, dynamic walking, center of mass, stability.*

BIBLIOGRAPHY

1. Vukobratović, M. A review of some basic misunderstandings / M. Vukobratović, B. Borovac, V. Potkonjak // International Journal of Humanoid Robotics. – 2011. – 3(02). – pp.153-175.

2. Vukobratović, M. Zero-moment point—thirty five years of its life / M. Vukobratović, B. Borovac // International journal of humanoid robotics. – 2004. – 1(01), pp.157-173.

3. Kajita, S. Biped walking pattern generation by using preview control of zero-moment point. In Robotics and Automation / S. Kajita, F. Kanehiro, K. Kaneko, K. Fujiwara, K. Harada, K.Yokoi, H. Hirukawa // Proceedings. ICRA'03. IEEE International Conference. – 2003. – Vol. 2. – pp. 1620-1626

4. Kajita, S. Biped walking pattern generator allowing auxiliary zmp control. In Intelligent Robots and Systems / S. Kajita, M. Morisawa, K. Harada, K. Kaneko, F. Kanehiro, K. Fujiwara, H. Hirukawa // Robots and Systems, 2006 IEEE/RSJ International Conference. – 2006. – pp. 2993-2999.

5. Park, J. General ZMP preview control for bipedal walking. In Robotics and Automation / J. Park, Y. Youm // 2007 IEEE International Conference. – 2007. – pp. 2682-2687.

6. Wang, G. Biped robot balance control—Based on FRP feedback mechanism and ZMP. In Computer Science & Education / G. Wang // 2013 8th International Conference. – 2013. – pp. 251-254.

7. Shin, H.K. Energy-efficient gait planning and control for biped robots utilizing the allowable ZMP region / H.K. Shin, B.K. Kim. // IEEE Transactions on Robotics. – 2014. – 30(4). – pp.986-993.

8. Yang, H. Fast ZMP and friction force calculation of mobile robot trajectory on uneven trajectory. In Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence / H. Yung, S.Y. Jeon, D. Lee. // 2017 14th International Conference. – 2017. – pp. 884-885.

9. Winkler, A.W. Fast Trajectory Optimization for Legged Robots using Vertex-based ZMP Constraints / A.W. Winkler, F. Farshidian, D. Pardo, M. Neunert, J. Buchli // arXiv preprint arXiv:1705.10313. – 2017

10. Tedrake, R. A closed-form solution for real-time ZMP gait generation and feedback stabilization. In Humanoid Robots / R.A. Tedrake, S. Kuindersma, R. Deits, K. Miura // 2015 IEEE-RAS 15th International Conference. – 2015. – pp. 936-940.

11. Yu, H.F. An Improved ZMP-Based CPG Model of Bipedal Robot Walking Searched by SaDE / H.F. Yu, E.H.K. Fung, X.J. Jing // 2014 ISRN robotics conference. – 2014.

12. Goldbeck, C. Two ways of walking: Contrasting a reflexive neuro-controller and a LIP-based ZMP-controller on the humanoid robot ARMAR-4. In Humanoid Robots / C. Goldbeck, L. Kaul, N. Vahrenkamp, F. Worgotter, T. Asfour, J.M. Braun // 2016 IEEE-RAS 16th International Conference. – 2016. – pp. 966-972.

13. Kajita, S. MP and Dynamics. In Introduction to Humanoid Robotics / S. Kajita, H. Hirukawa, K. Harada, K. Yokoi // Springer Berlin Heidelberg. – 2014. – pp. 69-103

14. Jatsun, S. Motion control algorithm for a lower limb exoskeleton based on iterative LQR and ZMP method for trajectory generation / S. Jatsun, L. Savin, A. Jatsun // International Workshop on Medical and Service Robots. – 2016. – pp. 305-317.

15. Jatsun, S. Adaptive control system for exoskeleton performing sit-to-stand motion / S. Jatsun, L. Savin, A. Jatsun, R. Turlapov // 2015 10th International Symposium Mechatronics and its Applications (ISMA). – 2015. – pp. 1-6.

Yatsun Andrey Sergeevitch

Southwest State University

c.t.s., senior lecturer

305040 Kursk, street 50 years of October, 94

Tel. +7 (4712) 22-26-26

E-mail teormeh@inbox.ru

УДК 76.13.25; 681.2

А.Р. ГЛАДЫШЕВ, А.В. ГЛАДЫШЕВА

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ МАКЕТА МОДУЛЬНОГО БИОНИЧЕСКОГО ПРОТЕЗА НОГИ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. В работе выполнены разработка и исследование макета бионического протеза ноги и системы управления. Разработана структура системы управления протезом, а также предложена реализация человеко-машинного интерфейса. Выполнено исследование и анализ ЭМГ-сигналов с поверхности крупных мышц ноги человека с использованием 2х видов миоэлектрических датчиков при выполнении основных двигательных действий, осуществляемых ногой при движении (ходьбе). Предложена реализация модульной механической конструкции протеза (голеностопный модуль может использоваться отдельно) система управления которой позволит пользователю комфортно передвигаться как по ровной поверхности, так и в условиях различных препятствий.

Ключевые слова: протезирование, ЭМГ, человеко-машинный интерфейс, тензорезистивный датчик, бионика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Не опускайте рук: почему бионические протезы не становятся доступнее? [Электронный ресурс]: журнал Forbes. – Электрон. журн. – Режим доступа: <http://www.forbes.ru/tehnologii/345329-ne-opuskayte-ruk-rochemu-bionicheskie-protezy-ne-stanovyatsya-dostupnee>.
2. Самый совершенный протез в мире [Электронный ресурс]: журнал Forbes. – Электрон. журн. – Режим доступа: <http://www.forbes.ru/tehnologii/33944-camyi-sovershennyi-v-mire-protez>.
3. Хоровиц, П. Искусство схемотехники: монография : в 3-х т./ П. Хоровиц, У. Хилл. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Мир, 1993. – 1200 с. – 1 т.
4. Тензометрические датчики [Электронный ресурс]: Википедия. – Свободная энциклопедия. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Тензометрический_датчик.
5. Тензометрические датчики (Тензодатчики). Виды, работа [Электронный ресурс]: Электрика и электрооборудование, электротехника и электроника — информация! – Информационно-познавательный сайт. – Режим доступа: <http://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/ustrojstva/tenzometricheskie-datchiki-tenzodatchik/>.
6. Лаврентьев, Б.Ф. Схемотехника электронных средств : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Б.Ф. Лаврентьев. – Москва: Издательский центр «Академия», 2010. – 336 с.
7. Белов, А.В. Самоучитель разработчика устройств на микроконтроллерах AVR / А.В. Белов. – Санкт-Петербург: Наука и Техника, 2008. – 544 с.
8. Воротников, С. А. Биометрическая система управления протезом руки / С.А. Воротников, В.С. Струнин, Н.А. Выборнов // Прикаспийский журнал: Управление и высокие технологии. – 2013. – № 3. – С. 147-162.
9. Гаврилов, А.И. Биоинформационная система классификаторов движений лучезапястного сустава на основе нечеткой логики / А.И. Гаврилов, Со Со Тав У // Вестник МГТУ им. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2016. – № 6. – С. 71-84.

Гладышев Андрей Романович

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный
национальный исследовательский университет»

аспирант 1-го года обучения

308015, г. Белгород, ул. Победы 85

Тел. 89192885768

E-mail: 1173079@bsu.edu.ru

Гладышева Анастасия Владимировна

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный
национальный исследовательский университет»

аспирант 1-го года обучения

308015, г. Белгород, ул. Победы 85

Тел. 89102207741

E-mail: popova-anastasiya@bk.ru

A.R. GLADYSHEV, A.V. GLADYSHEVA

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF MECHANICAL DESIGN LAYOUT MODULAR BIONIC LEG PROSTHESIS AND CONTROL SYSTEM

Abstract. *In the development and research of the layout of bionic prosthetic legs and the control system. The structure of the system to control the prosthesis and also proposed the implementation of a human-machine interface. Performed research and analysis of EMG signals from the surface of the large muscles of the legs of a man using 2 types of myoelectric sensors when performing basic motor actions performed by the foot during movement (walking). Coole implementation of modular mechanical design of the prosthesis (ankle module can be used separately) control system which will allow the user to move comfortably as on a flat surface, and under different obstacles.*

Keywords: *prosthetics, EMG, human machine interface, piezoresistive sensor, biomimetics.*

BIBLIOGRAPHY

1. Ne opuskayte ruk: pochemu bionicheskiye protezy ne stanovyatsya dostupneye? [Elektronnyy resurs]: zhurnal Forbes. – Elektron. zhurn. – Rezhim dostupa: <http://www.forbes.ru/tehnologii/345329-ne-opuskayte-ruk-pochemu-bionicheskie-protezy-ne-stanovyatsya-dostupnee>.
2. Samyy sovershennyy protez v mire [Elektronnyy resurs]: zhurnal Forbes. – Elektron. zhurn. – Rezhim dostupa: <http://www.forbes.ru/tehnologii/33944-cami-sovershenniy-v-mire-protez>.
3. Khorovits, P. Iskustvo skhemotekhniki: monografiya : v 3-kh t./ P. Khorovits, U. Khill. – 4-ye izd., pererab. i dop. – Moskva: Mir, 1993. – 1200 s. – 1 t.
4. Tenzometricheskiye datchiki [Elektronnyy resurs]: Vikipediya. – Svobodnaya entsiklopediya. – Rezhim dostupa: https://ru.wikipedia.org/wiki/Tenzometricheskyy_datchik.
5. Tenzometricheskiye datchiki (Tenzodatchiki). Vidy, rabota [Elektronnyy resurs]: Elektriya i elektrooborudovaniye, elektrotekhnika i elektronika — informatsiya! – Informatsionno-poznavatel'nyy sayt. – Rezhim dostupa: <http://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/ustrojstva/tenzometricheskie-datchiki-tenzodatchik/>.
6. Lavrent'yev, B.F. Skhemotekhnika elektronnykh sredstv : ucheb. posobiye dlya stud. vyssh. ucheb. zavedeniy / B.F. Lavrent'yev. – Moskva: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2010. – 336 s.
7. Belov, A.V. Samouchitel' razrabotchika ustroystv na mikrokontrollerakh AVR / A.V. Belov. – Sankt-Peterburg: Nauka i Tekhnika, 2008. – 544 s.
8. Vorotnikov, S. A. Biometricheskaya sistema upravleniya protezom ruki / S.A. Vorotnikov, V.S. Strunin, N.A. Vybornov // Prikaspiyskiy zhurnal: Upravleniye i vysokkiye tekhnologii. – 2013. – № 3. – S. 147-162.
9. Gavrilov, A.I. Bioinformatsionnaya sistema klassifikatorov dvizheniy luchezapayastnogo sustava na osnove nechetkoy logiki / A.I. Gavrilov, So So Tav U // Vestnik MGTU im. Baumana. Ser. Priborostroyeniye. – 2016. – № 6. – S. 71-84.

Gladyshev Andrei Romanovich
The National Research University
«Belgorod State University» (BelSU)
postgraduate student of the 1st year
308015, Belgorod, Pobeda St. 85
Tel. 89192885768
E-mail: 1173079@bsu.edu.ru

Gladysheva Anastasiya Vladimirovna
The National Research University
«Belgorod State University» (BelSU)
postgraduate student of the 1st year
308015, Belgorod, Pobeda St. 85
Tel. 89102207741
E-mail: popova-anastasiya@bk.ru

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

УДК 620.19

А.С. ДЕМИНА, С.А. ДЕМИН, Е.В. ШАЛОБАЕВ

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В ДИАГНОСТИКЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВЫСОКООБОРОТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация. *В статье рассмотрен один из возможных вариантов применения на практике метода тепловизионной спектроскопии. Этот метод предложено использовать для диагностики и мониторинга состояния важнейшего элемента высокооборотного оборудования – механического автомата безопасности,*

а именно наличия коррозионного износа поверхностей сопряженных деталей (бойка и гайки). Последствием такого износа может стать аварийная ситуация.

Данный метод позволяет определить наличие дефекта на поверхности материала дистанционно. Преимуществами этого метода по сравнению с традиционными являются: возможность проводить мониторинг удаленных или труднодоступных поверхностей, не требуется корректировка режимов работы объектов исследования, автоматизация процесса диагностики, мониторинга и проверки работоспособности узла. На основе данных, полученных методом тепловизионной спектроскопии, делается заключение о состоянии сопряженных деталей и о необходимости их проверки.

Ключевые слова: лазер, тепловизионная камера, коэффициент поглощения, спектроскопия, химический состав, механический автомат безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Demtroder W. Laser spectroscopy. Basic concepts and instrumentation. Berlin: Springer-Verlag. 2003. 986 p.
2. Vollmer M., Mollmann K.-P. Infrared thermal imaging. Fundamentals, research and applications. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 2010. 612 p.
3. Колючкин В.Я. Тепловизионные приборы и системы: учеб. пособие. М.: МГТУ. 2003. 54 с.
4. Трухний А.Д., Ломакин Б.В. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки. Учебное пособие для вузов. М.: изд-во МЭИ, 2002. 540 с.
5. Orstein H.L. Operating experience feedback report – turbine-generator overspeed protection systems. Commercial power reactors Safety programs divisions, office for analysis and evaluation of operational data, U.S. Nuclear regulatory commission, Washington, DC, 1995. 122 p.
6. Taylor Scott L., Smith Sheldon S. Turbine Overspeed systems and required response times // Proceedings of the thirty-eighth turbomachinery symposium. 2009. P. 157–167.
7. Будников И.К., Киракосов В.Г. Устройство контроля состояния бойков автомата безопасности турбины. Патент на полезную модель RU №30846 МПК F01D 21/02(2000/01), ОАО «Всероссийский теплотехнический научно-исследовательский институт», 18.02.2003.
8. Property loss prevention data sheets, FM Global, №13-3, January, 2013, 39 p.
9. Демин А.В., Демин С.А., Демина А.С., Шалобаев Е.В. Способ определения дефектов материала. Патент на изобретение RU №2626227 МПК G01N 25/72 (2006.01) G01J 5/60 (2006.01) G01N 21/39 (2006.01) СПбНИУ ИТМО. Бюл. 2017. № 21
10. Демин С.А., Шалобаев Е.В. Определение зон с иным химическим составом на удаленных поверхностях // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, том 17, 2017. №5, С.812-819.
11. Демин С.А., Шалобаев Е.В. Способ определения дефектов в поверхностном слое и объеме материала // Сборник трудов. V Всероссийский конгресс молодых ученых, 12-15 апреля 2016 г. В 2-х т.т. Т.1 – СПб.: ун-т ИТМО, 2016. - С.132–134.
12. Вейко В.П., Шахно Е.А. Сборник задач по лазерным технологиям. Издание 3-е, испр. и дополн. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. - 67 с.
13. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976. 558 с.
14. Кизель В.А. Отражение света. Серия: «Физика и техника спектрального анализа». М.: Наука, 1973. - 352 с.
15. Демин А.В. Оценка глубины проникновения излучения при внутреннем отражении // Поверхность. Рентгеновские, синхронные и нейтронные исследования. 1999. №5-6. - С. 167–168.
16. Демина А.С., Шалобаев Е.В. Новый подход к повышению надежности работы системы безопасности турбоагрегата на основе использования скрытых резервов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, том 17, 2017. №6. - С.1133-1139.
17. Демина А.С., Шалобаев Е.В. Аспекты надежности мехатронной системы защиты быстровращающегося оборудования // Сборник трудов. V Всероссийский конгресс молодых ученых, 12-15 апреля 2016 г. В 2-х т.т. Т.1 – СПб.: ун-т ИТМО, 2016. - С.134-137.
18. Шалобаев Е.В., Демина А.С. К вопросу об использовании перспективных технологий с применением интеллектуального мехатронного модуля // Научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов атомной отрасли «Команда» (05-09 июня 2017). СПб.: АО «Атомпроект», 2017. - С.28–29.
19. Nurcombe V. Considerations when retrofitting overspeed detection systems // ORBIT magazine. 2005. V. 25. N 1. P.16–28.
20. Скворцов Л.А. Лазерные методы дистанционного обнаружения химических соединений на поверхности тел. М.: Техносфера, 2014. 208 с.
21. Kaplan H. Practical applications of infrared thermal sensing and imaging equipment. Bellingham, Washington: SPIE. 2007. 166 p.
22. Дунаев А.В., Евстигнеев А.Р., Шалобаев Е.В. Лазерные терапевтические устройства: учеб. Пособие / Под ред. К.В. Подмастерьева. Орел-Калуга-СПб.: ОрелГТУ, 2005. 173 с.
23. Леонтьева Н.В. Применение сканирующей лазеротерапии в лечении больных с клиническими проявлениями атеросклероза / Под ред. Н.Н.Петрищева. СПб.: ГМУ, 2001. 31 с.

Демина Анна Сергеевна
ПАО «Силловые машины»
Инженер-конструктор
8-952-351-19-65
E-mail: anyagladysheva@gmail.com

Демин Сергей Александрович
Федеральное государственное
автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский
национальный исследовательский
университет информационных
технологий, механики и оптики»

Шалобаев Евгений Васильевич
Федеральное государственное
автономное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский
национальный исследовательский
университет информационных
технологий, механики и оптики

(Университет ИТМО)
аспирант
тел. 4463823
E-mail: vaux.carlton@gmail.com

(ITMO University)
кандидат технических наук,
профессор
8-921-988-00-86
E-mail: evshalobaev@corp.ifmo.ru

A.S. DEMINA, S.A. DEMIN, E.V. SHALOBAEV

APPLYING OF THERMAL IMAGING SPECTROSCOPY IN DIAGNOSTIC OF HIGH-SPEED EQUIPMENT SURFACES

Abstract. *The article considers one of the possible options of method of thermal imaging spectroscopy practical applying. The method is offered to use for a diagnostics and monitoring of the mechanical overspeed trip mechanism state, the high-speed equipment important part. The method allows to detect the presence of related parts (bolt and nut) surfaces corrosion wear. This wear may lead to the accident.*

The given method allows to identify the defect presence on the material surface remotely. The advantages of this method in comparison with traditional ones are: possibility to monitor distant and not easily accessible surface, no operating modes adjustment of research object is required, automation of diagnostic and monitoring processes and functional test of the unit. It is made a conclusion of related parts state and of test necessity based on the data obtained by the method of thermal imaging spectroscopy.

Keywords: *laser, thermal imaging camera, absorption coefficient, spectroscopy, chemical composition, mechanic overspeed trip mechanism.*

BIBLIOGRAPHY

1. Demtroder W. Laser spectroscopy. Basic concepts and instrumentation. Berlin: Springer-Verlag. 2003. 986 p.
2. Vollmer M., Mollmann K.-P. Infrared thermal imaging. Fundamentals, research and applications. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 2010. 612 p.
3. Koljuchkin V.Ya. Thermal imaging devices and systems: Stud. allowance. - Moscow: MSTU. 2003. 54 p. (in Russian)
4. Truhniy A.D., Lomakin B.V. Cogeneration steam turbines and turbine units. Manuel for universities. M.: pub. MEI, 2002. 540 p (in Russian)
5. Orstein H.L. Operating experience feedback report – turbine-generator overspeed protection systems. Commercial power reactors Safety programs divisions, office for analysis an evaluation of operational data, U.S. Nuclear regulatory commission, Washington, DC, 1995. 122 p.
6. Taylor Scott L., Smith Sheldon S. Turbine Overspeed systems and required response times // Proceedings of the thirty-eighth turbomachinery symposium. 2009.P. 157–167.
7. Budnikov I.K., Kirakosov V.G. Device for the monitoring of the turbine overspeed trip bolts. Patent RU №30846 IPC F01D 21/02(2000/01) OJSC «Vserossiyskiy teplotekhnicheskii nauchno-issledovatel'skiy institut», 18.02.2003 (in Russian)
8. Property loss prevention data sheets, FM Global, №13-3, January, 2013, 39p
9. Demin A.V., Demin S.A., Demina A.S., Shalobaev E.V. Method of determining material defects. Patent RU №2626227 IPC G01N 25/72 (2006.01) G01J 5/60 (2006.01) G01N 21/39 (2006.01) ITMO University. Bul.. 2017. № 21
10. Demin S.A., Shalobaev E.V. Determination of the presence of defects and their chemical composition on remote surfaces // Nauchno-tehnicheskiiy vestnik informatsionnyh tehnologiy, mehaniki i optiki, vol. 17, №5, P.812-819, 2017 (in Russian)
11. Demin, S. A., Shalobaev E. V. Method of determining defects in the surface layer and in the bulk material // proceedings of the V all-Russian Congress of young scientists. In 2 vols. Vol. 1. – SPb.: University ITMO, 2016. – P.132-134. (in Russian)
12. Veiko V. P., Shakhno E. A. Collection of problems in laser technologies. Edition 3-e, Rev. and more. – SPb: SPbSU ITMO, 2007. – 67 p. (in Russian)
13. Landsberg G. S. Optics. - Moscow: Nauka, 1976. - 558 p. (in Russian)
14. Kizel V. A. Reflection of light. Series: "Physics and technology of spectral analysis". - Moscow: Science. 1973. - 352 p. (in Russian)
15. Demin A. V. Estimation of the depth of penetration of radiation, internal reflection / The surface. X-ray, synchronous and neutron studies. 1999. About 5-6. – Pp. 167-168. (in Russian)
16. Demina A.S., Shalobaev E.V. A new approach to improving the reliability of the safety system of the turbine based on the use of hidden reserves // Nauchno-tehnicheskiiy vestnik informatsionnyh tehnologiy, mehaniki i optiki, vol. 17, №6, P.1133-1139, 2017 (in Russian)
17. Shalobaev E.V., Demina A.S. Using of perspective technology with application of intelligent mechatronic module // Scientific-practical conference of young scientists and specialists of nuclear department «Komanda» (05-09 of June 2017). SPb.: JSC «Atomproekt», 2017. P.28–29 (in Russian)
18. Nurcombe B. Considerations when retrofitting overspeed detection systems // ORBIT magazine.2005. V. 25. N 1.P.16–28.
19. Skvorcov L.A. Laser methods of remote detecting of chemical compounds on the solid surfaces. M.: Tehnosfera, 2014. 208 p. (in Russian)
20. Kaplan H. Practical applications of infrared thermal sensing and imaging equipment. Bellingham, Washington: SPIE. 2007. 166 p.

21. Dunaev, A.V. Laser therapeutic devices: proc. manual / A. V. Dunaev, A. R. Evstigneev, E. V. Shalobaev / ed. K. V. Podmaster'ev. – Orel-Kaluga-SPb.: OrelGTU, 2005. – 173 p. (in Russian)

22. Leontieva N.V. In. The application of the scanning of laser therapy in the treatment of patients with clinical manifestations of atherosclerosis / ed. N.N.Petrishev. St. Petersburg: LGU, 2001. P. 31.(in Russian)

Demina Anna Sergeevna

PJSC «Power machines»

engineer

8-952-351-19-65

E-mail: anyagladysheva@gmail.com

Demin Sergei Aleksandrovich

ITMO University

Postgraduate student

Tel.4463823

E-mail: vaux.carlton@gmail.com

Shalobaev Evgeniy Vasilyevich

ITMO University

Ph.D, professor

Tel. 8-921-988-00-86

E-mail: evshalobaev@corp.ifmo.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 1 экземпляре на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).

- Водном сборнике может быть опубликована только **одна статья одного автора**, включая соавторство.

- 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. Подрисуночные надписи выполнять шрифтом **Times New Roman, 10 пт, полужирным, курсивным**, в конце точка не ставится.

- Рисунки с подрисуночной 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: tiostu@mail.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 22.02.2018 г.
Дата выхода в свет
Формат 60x88 1/8. Усл. печ. л. 9,56.
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