

Редакция

Главный редактор

Радченко С.Ю. д-р техн. наук, проф.

Заместители главного редактора:

Барсуков Г.В. д-р техн. наук, проф.

Гордон В.А. д-р техн. наук, проф.

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

Савин Л.А. д-р техн. наук, проф.

Шоркин В.С. д-р физ.-мат. наук, проф.

Члены редколлегии:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(Азербайджан)

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

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

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

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

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

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

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

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

(Беларусь)

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

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

Ответственный секретарь:

Тюхта А.В. канд. техн. наук

Адрес редакции

302030, г. Орел, ул. Московская, 34

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

http://oreluniver.ru

E-mail: radsu@rambler.ru

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

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

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2019

Содержание

Материалы международной научно-технической конференции

«Динамика, надежность и долговечность механических и биомеханических систем»

Секция «Теоретическая и прикладная механика»

Георгиевская Е.В. Возможности и недостатки современных систем диагностики гидроагрегатов.....	3
Заморёнов М.В., Заморёнова Д.В. Апробация метода моделирования регенирирующих систем на примере моделирования процесса функционирования однокомпонентной системы с учетом календарной профилактики.....	13
Иванов Е.А., Калаев В.А., Шумилин С.А. Альтернативный вариант исполнения проточной части ГЦН 22600-87.....	19
Иванов Е.А., Калаев В.А., Шумилин С.А. Расчетное исследование лопастной системы турбонасосного агрегата ЖРД 170.....	23
Игнатович В.С., Кузьмина А.В. Основные риски возникновения аварийных ситуаций на плавучих буровых установках и мероприятия по их снижению.....	29
Колесова М.А., Бугаев П.А., Поляков А.М., Кошечка Д.О. Мультивариантные ЛВП-полиномы и томотопия решений системы полиномиальных уравнений.....	39
Копп В.Я., Балакин А.И., Балакина Н.А. Возможность использования полиномиальной аппроксимации при анализе дифференциальной энтропии случайных величин, сосредоточенных на конечном интервале.....	51
Лавриненко В.Ю. Численное моделирование процесса удара при деформировании заготовок на молотах.....	59
Мешихин И.А., Мысливец М.Н., Бобров Д.С., Лычагин А.В., Гаврюшин С.С. Методика не инвазивной оценки состояния коленного сустава на основе суррогатной модели.....	68
Морева И.Н., Хромов Е.В. Определение коэффициентов волнового демпфирования методом свободных затухающих колебаний.....	73
Осипов К.Н. Адаптивный алгоритм оценки измерительной информации в ходе производственных испытаний.....	77
Паиков Е.В., Калинин М.И., Паикова И.С. Повышение износостойкости шаровых подвижных соединений эндопротезов.....	85
Поляков А.М., Лазарев В.Б., Лозинский Н.А., Сопин П.К., Пахалюк В.И. Оптимизация испытательного стенда на основе платформы Стюарта для обеспечения условий испытаний модулей трансформаторных протезов.....	92
Бохонский А.И., Рыжков А.И. Проектирование упругого объекта для исследования оптимального переносного вращательного движения вокруг неподвижной оси.....	101
Шкапов П.М., Сулимов В.Д., Сулимов А.В. Гибридные алгоритмы вычислительной диагностики неустойчивой по Якоби динамической системы с управлением.....	107

Секция «Технологии и инструменты»

Богущий В.Б., Шрон Л.Б. Выбор технологических методов, обеспечивающих оптимальный стык посадок.....	119
Ветрогон А.А., Ксенофонтова В.А., Бабкин А.В., Якишин А.Н. Влияние погрешности определения энергии деформации кузова на точность расчета скоростей транспортных средств перед столкновением.....	127
Макашкин И.М., Данков А.А., Филиппова Е.М., Петрищев Н.А., Саяпин А.С. Опыт внедрения оборудования для диагностики, контроля качества изготовления и ремонта агрегатов гидропривода, трансмиссии энергонасыщенной техники.....	135
Дологоян А.В., Матвеев В.Т. Термодинамические характеристики сложных циклов микрогазотурбинных установок на номинальных режимах работы для распределенной энергетики.....	145
Миранович А.В., Мрочек Ж.А. Управление стабильностью технологической системы в процессе электромагнитной наплавки.....	152
Новокионов Д.Н., Соколова О.В. Влияние качества выформовки профиля трубной заготовки при непрерывной вальковкой формовке на показатели эффективности производства.....	159
Пантелеенко Ф.И., Оковитый В.А., Асташинский В.А., Соболевский С.Б., Оковитый В.В. Анализ и выбор возможных вариантов напыления композиционных многослойных покрытий из порошков керамики на защитные экраны.....	166
Семенов И.Е., Иванов А.В. Выдавливание коробчатых деталей с локальными активными силами трения.....	172
Анцев А.В. Расчет надежности многолезвийного режущего инструмента при черновой обработке на основе статистического моделирования.....	182
Буркова Е.В., Бурков Д.В. Снижение антропогенного воздействия от котельных в условиях Крыма.....	191
Прохорова Т.В., Ланин А.А. Модель хрупкого разрушения сварных соединений при высокотемпературной ползучести.....	198
Хромов В.Г., Неменко А.В., Никитин М.М. Оптимизация кольцевой разгрузки при изготовлении деталей с поверхностями второго порядка.....	208

Editorial Committee

Editor-in-chief

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

Editor-in-chief Assistants:

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

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

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

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

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

Member of editorial board:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Executive secretary:

Tyukhta A.V. Candidate Sc. Tech.

Address

302030 Orel, Moskovskaya ul., 34

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

http://oreluniver.ru

E-mail: radsu@rambler.ru

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

Index on the catalogue of the
«Pressa Rossii» 29504

© Orel State University, 2019

Contents

Materials of the international scientific and technical conference

«Dynamics, reliability and durability of mechanical and biomechanical systems»

Section «Theoretical and Applied Mechanics»

<i>Georgievskaya E.V.</i> The possibilities and shortcomings of modern diagnostic systems for hydraulic units.....	3
<i>Zamoryonov M.V., Zamoryonova D.V.</i> Approbation of the method of modeling regenerating systems on the example of modeling the process of functioning of a single component system with regard to calendar prevention.....	13
<i>Ivanov E.A., Kalaev V.A., Shumilin S.A.</i> Alternative variant of the design of the flow part of the main circulation pump 22600-87.....	19
<i>Ivanov E.A., Kalaev V.A., Shumilin S.A.</i> Improvement of efficiency and cavitation properties of turbine-driven pumps for liquid-propellant engine.....	23
<i>Ignatovich V.S., Kuzmina A.V.</i> Major risks of emergency situations in float drilling installations and actions to reduce them.....	29
<i>Kolesova M.A., Bygayov P.A., Poliakov A.M., Koshevaya D.O.</i> Multi-variant LRP-polynomials and homotopy of solutions of polynomial equations system.....	39
<i>Kopp V.Ya., Balakin A.I., Balakina N.A.</i> The possibility of using polynomial approximation in the analysis of differential entropy of random variables concentrated on a finite interval.....	51
<i>Lavrinenko V.Yu.</i> Numerical simulation of impact during hammer forging.....	59
<i>Meshchikhin I.A., Myslivets M.N., Bobrov D.S., Lychagin A.B., Gavryushin S.S.</i> Technique non-invasive assessment of the knee joint based on a surrogate model.....	68
<i>Moreva I.N., Khromov E.V.</i> Determination of coefficients of wave damping by method free damped oscillations.....	73
<i>Osipov K.N.</i> The adaptive estimation algorithm of measurement information during production testing.....	77
<i>Pashkov E.V., Kalinin M.I., Pashkova I.S.</i> Improvement of wear resistance of ball mobile connections of endoprothesis.....	85
<i>Poliakov A.M., Lazarev V.B., Lozinski N.A., Pakhaliuk V.I., Sopin P.K.</i> Optimization of a test stand on the basis of Stewart platform for the ensuring conditions of tests of transfemoral prostheses modules.....	92
<i>Bokhonsky A.I., Ryzhkov A.I.</i> Elastic object designing for the research of the optimal portable rotational motion around fixed axis.....	101
<i>Shkapov P.M., Sulimov V.D., Sulimov A.V.</i> Hybrid algorithms of computational diagnostics of Jacobi unstable controllable dynamical system.....	107
Section «Technologies and Tools»	
<i>Bogutsky V.B., Shron L.B.</i> Selection of technological methods to ensure optimal joint landing.....	119
<i>Vetrogon A.A., Ksenofontova V.A., Babkin A.V., Yakshin A.N.</i> Investigation of influence extent of definition error of deformation energy of the body on the accuracy of determination of vehicle speeds before crash.....	127
<i>Makarkin I.M., Dancov A.A., Filippova E.M., Petrishchev N.A., Sayapin A.S.</i> The experience of introducing equipment for diagnosis, quality control of the manufacture and repair of hydraulic units, power transmission equipment.....	135
<i>Dologlonyan A.V., Matvienko V.T.</i> Use of the managed hydrodynamic cavities for desalting of sea and saltish water.....	145
<i>Miranovich A.V., Mrochek G.A.</i> Stability management of a technological system in the process of electromagnetic surfacing.....	152
<i>Novokshonov D.N., Sokolova O.V.</i> Influence of forming billet profile quality at continuous roll forming on indicators of production efficiency.....	159
<i>Panteleenko F.I., Okovity V.A., Astashinsky V.A., Sobolewski S.B., Okovity V.V.</i> The analysis and selection of possible options for the deposition of composite multilayer coatings from powders of ceramics for protective screens.....	166
<i>Semenov I.E., Ivanov A.V.</i> Backward extrusion of box-shaped parts by use of active friction forces.....	172
<i>Antsev A.V.</i> Multi-point cutting tool reliability calculation at rough machining based on statistical modeling.....	182
<i>Burkova E.V., Burkov D.V.</i> Reducing anthropogenic impacts from boilers in Crimea.....	191
<i>Prokhorova T.V., Lanin A.A.</i> The brittle fracture model of welding joint at high-temperature creep.....	198
<i>Chromov V.G., Nemenko A.V., Nikitin M.M.</i> Optimization of ring-type unloading device in manufacturing of details with second order surfaces.....	208

МАТЕРИАЛЫ
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ДИНАМИКА, НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ
МЕХАНИЧЕСКИХ И БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ»

СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА»

УДК 621.224:534.13

Е.В. ГЕОРГИЕВСКАЯ

**ВОЗМОЖНОСТИ И НЕДОСТАТКИ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ
ДИАГНОСТИКИ ГИДРОАГРЕГАТОВ**

Аннотация. Традиционно считается, что основными показателями, определяющими надежность работы гидроагрегатов (ГА), являются вибрационные параметры. На этом основаны принципы мониторинга гидроагрегатов, отраженные в отраслевой нормативной документации.

В настоящее время в России системы диагностики выполняют преимущественно роль предупредительной и аварийной сигнализации и не используются для прогнозирования изменения технического состояния, оценки ресурса или планирования ремонтов по состоянию. Как показывает практика, большинство современных диагностических систем не позволяет выявить макротрещины в ресурсопределяющих элементах ГА не только на ранней стадии их развития, но даже и при достаточно больших размерах.

В статье приведены результаты изучения поведения динамической системы «рабочее колесо – вал – опорные подшипники» в условиях фактической эксплуатации крупного вертикального радиально-осевого (РО) гидроагрегата. Особое внимание уделено влиянию трещин на контролируемые диагностическими системами параметры вибрации.

Показано, что за счет высокой жесткости конструкции, появление и рост трещин в отдельных элементах слабо влияет на частоты и амплитуды регистрируемых колебаний. Кроме того, в спектре динамических напряжений рассматриваемой системы присутствуют составляющие, которые не вызывают реакции на опорных узлах ГА. Это означает, что существующие диагностические системы не позволяют выявить трещины и, соответственно, не позволяют правильно оценить срок службы гидроагрегата или время безопасной эксплуатации до необходимого ремонта.

Проведенные исследования показывают недостатки существующих диагностических систем гидроагрегатов с точки зрения оценки ресурса и планирования ремонтов, а также позволяют определить приоритетные направления их развития на ближайшую перспективу.

Ключевые слова: диагностика, трещина, гидротурбина, ресурс, рабочее колесо.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Георгиевская, Е. Ресурс гидротурбин – гарантия надежности и безопасности эксплуатации ГЭС. Аналитический обзор литературы. – LAP. – 2018. – 157 p. – ISBN 978-613-6-95791-3. (rus).
2. Frunzăverdel D., Muntean S., Mărginean G., Câmpiani V., Marşavina L., Terzi R., Şerban V. // Failure analysis of a Francis turbine runner. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science – 2010. – № 12(1) – P. 012115. – doi:10.1088/1755-1315/12/1/012115
3. Nennemann B., Monette C., Chamberland-Lauzon J. // Hydrodynamic damping and stiffness prediction in Francis turbine runners using CFD. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science – 2016. – № 49(7) – P. 072006. – doi:10.1088/1755-1315/49/7/072006
4. СТО РусГидро 02.01.059–2011 (СТО 70238424.27.140.023–2010) Мониторинг технического состояния основного оборудования. Нормы и требования.
5. Временные методические указания по мониторингу и контролю вибрационного состояния гидроагрегатов, оснащенных стационарными системами вибродиагностики.
6. Стационарная система виброконтроля, мониторинга и диагностики гидроагрегатов АЛМАЗ–7010–ГЭС // http://www.diamech.ru/almaz_ges.html (дата обращения 30.04.2019).
7. ISO 20816–5:2018 «Mechanical vibration – Measurement and evaluation of machine vibration – Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pump–storage plants.
8. Георгиевская, Е.В. О связи вибраций и динамических напряжений в лопастной системе гидротурбин // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2017. – Т. 283. – С. 54–65.
9. Georgievskaja, E. Justification of the hydraulic turbines lifetime from the standpoint of the fracture mechanics. Procedia Structural Integrity. – 2018. – №13. – P.971–975. – doi: 10.1016/j.prostr.2018.12.181

10. Авдюшенко, А.Ю. Численное моделирование переходных процессов в гидротурбинах // Теплофизика и аэромеханика. 2013. Т. 20. №5. С. 587–604.
11. Михайлов А.Л., Крюков С.В. Вибродиагностика повреждений деталей машин на основе исследования их собственных форм колебаний // Проблемы прочности. 2008. № 5. С. 121–128.
12. Косицын, А.В. Метод вибродиагностики дефектов упругих конструкций на основе анализа собственных форм колебаний // Приборы и методы измерений. № 2 (3), 2011. С. 129–135.
13. Георгиевская, Е.В. Концепция оценки ресурса гидротурбин после длительной эксплуатации // В сборнике: Безопасность и мониторинг техногенных и природных систем материалы и доклады. 2018. С. 50–56.
14. Pochylý P., Fialová S., Kozubková M., Bojko M. Tensors of added damping, stiffness and mass in a thin gap of hydrodynamic machine // 26th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2012. – Vol. 15. – P. 072027–072034. – doi:10.1088/1755-1315/15/7/072027.

Георгиевская Евгения Викторовна

ОАО «Научно–производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова»

(ОАО «НПО ЦКТИ»), г. Санкт–Петербург

Кандидат физико–математических наук,

главный научный сотрудник

Адрес: Россия, 191167, Санкт–Петербург, ул. Атаманская, д. 3/6

Тел. +7(812)578–87–24, +7(921)971–64–43

E–mail: GeorgievskajaEV@ckti.ru

E.V. GEORGIEVSKAYA

THE POSSIBILITIES AND SHORTCOMINGS OF MODERN DIAGNOSTIC SYSTEMS FOR HYDRAULIC UNITS

Abstract. *It is traditionally believed that the main indicators determining the reliability of hydraulic units are vibration parameters. This is the basis of the monitoring principles for hydraulic units as reflected in the industry regulatory documentation.*

Currently, in Russia, diagnostic systems perform mainly the role of warning and alarm systems and are not used to predict changes in the technical condition of the system, lifetime assessment or repair planning. As practice shows, the majority of modern diagnostic systems does not allow to detect macro–cracks in the main elements of hydraulic unit not only at an early stage of their development, but even at a sufficiently large size.

The article presents the results of studying the behavior of the dynamic system "runner – shaft – support bearings" under the actual operation conditions of a large vertical Francis hydraulic unit. Special attention is paid to the effect of cracks on the vibration parameters controlled by diagnostic systems.

It is shown that due to the high rigidity of the structure, the appearance and growth of cracks in turbine elements weakly affects the frequencies and amplitudes of the recorded oscillations. In addition, there are components in the spectrum of dynamic stresses of the considered system that do not cause a reaction on the unit supports. This means that the existing diagnostic systems do not allow detecting cracks and, accordingly, do not allow to correctly estimating the lifetime of the hydraulic unit or the time of safe operation before the necessary repairs.

The studies show not only the shortcomings of the existing diagnostic systems for hydraulic units in terms of lifetime assessment and repair planning, but allow determining the priority directions of their development in the near future.

Keywords: *diagnostics, crack, hydraulic turbine, lifetime, runner.*

BIBLIOGRAPHY

1. Georgievskaja E. The lifetime of the hydraulic turbines is the guarantee of reliability and safe operation of HPPs. Analytical review of the literature, 2018, LAP, 157 p., ISBN 978–613–6–95791–3 (rus).
2. Frunzăverdel D., Muntean S., Mărginean G., Câmpiani V., Marşavina L., Terzi R., Şerban V. // Failure analysis of a Francis turbine runner. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science – 2010. – № 12(1) – P. 012115. – doi:10.1088/1755–1315/12/1/012115
3. Nennemann B., Monette C., Chamberland–Lauzon J. // Hydrodynamic damping and stiffness prediction in Francis turbine runners using CFD. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science – 2016. – № 49(7) – P. 072006. – doi:10.1088/1755–1315/49/7/072006
4. STO РусГидро 02.01.059–2011 (STO 70238424.27.140.023–2010) Monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya osnovnogo oborudovaniya. Normy i trebovaniya.
5. Vremennye metodicheskie ukazaniya po monitoringu i kontrolyu vibracionnogo sostoyaniya gidroagregatov, osnashchennyh stacionarnymi sistemami vibrodagnostiki.
6. Stacionarnaya sistema vibrokontrolya, monitoringa i diagnostiki gidroagregatov ALMAZ–7010–GES // http://www.diamech.ru/almaz_ges.html (accessed 30.04.2019).
7. ISO 20816–5:2018 «Mechanical vibration – Measurement and evaluation of machine vibration – Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pump–storage plants.

8. Georgievskaya E.V. O svyazi vibracij i dinamicheskikh napryazhenij v lopastnoj sisteme gidroturbin // Izvestiya Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. B.E. Vedeneeva. – 2017. – T. 283. – S. 54–65.
9. Georgievskaya E. Justification of the hydraulic turbines lifetime from the standpoint of the fracture mechanics. Procedia Structural Integrity. – 2018. – №13. – P.971–975. – doi: 10.1016/j.prostr.2018.12.181
10. Avdyushenko A.YU., CHernyj S. G., CHirkov D. V., Skorospelov V.A., Turuk P.A. Chislennoe modelirovanie perekhodnykh processov v gidroturbinah // Teplofizika i aeromekhanika. – 2013. – T. 20. – №5. – S. 587–604.
11. Mihajlov A.L., Kryukov S.V. Vibrodiagnostika povrezhdenij detalej mashin na osnove issledovaniya ih sobstvennykh form kolebanij // Problemy prochnosti. – 2008. – № 5. – S. 121–128.
12. Kosicyn A.V. Metod vibrodiagnostiki defektov uprugih konstrukcij na osnove analiza sobstvennykh form kolebanij // Pribory i metody izmerenij. 2011. – № 2 (3). – S. 129–135.
13. Georgievskaya E.V. Koncepciya ocenki resursa gidroturbin posle dlitelnoj ekspluatatsii // V sbornike: Bezopasnost i monitoring tekhnogennykh i prirodnykh sistem materialy i doklady. – 2018. – S. 50–56.
14. Pochylý P., Fialová S., Kozubková M., Bojko M. Tensors of added damping, stiffness and mass in a thin gap of hydrodynamic machine // 26th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2012. – Vol. 15. – P. 072027–072034. – doi:10.1088/1755-1315/15/7/072027.

Georgievskaya Evgenia Viktorovna

JSC «NPO CKTI»

Ph.D., Chief researcher

3/6, Atamanskaya st., St. Petersburg, 191167

Tel. +7(812)578–87–24, +7(921)971–64–43

E-mail: GeorgievskayaEV@ckti.ru

УДК 519.87:004.94

М.В. ЗАМОРЕНОВ, Д.В. ЗАМОРЕНОВА

АПРОБАЦИЯ МЕТОДА МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕГЕНИРИРУЮЩИХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОДНОКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ КАЛЕНДАРНОЙ ПРОФИЛАКТИКИ

Аннотация. В данной статье проводится апробация разработанного авторами метода моделирования регенирирующих систем с общим фазовым пространством состояний путем сравнения результатов фазового укрупнения, сделанного предлагаемым методом и классическим, известным из литературы. Рассматривается процесс функционирования однокомпонентной системы с учетом календарной профилактики. Приводится теорема о функциях распределения времени пребывания в подмножестве непрерывных состояний. Определяются функции распределения случайных величин – времен пребывания укрупненной системы в состояниях, вероятности переходов такой системы, а также стационарное распределение вложенной цепи Маркова. Проводится сравнение полученных выражений с известными из литературы, полученными классическим методом, требующим решения интегральных уравнений и последующего перехода от системы с общим фазовым пространством состояний к системе с дискретными состояниями с использованием алгоритма фазового укрупнения.

Ключевые слова: полумарковская система, стационарное распределение, календарная профилактика, регенирирующая система.

Исследования выполнены при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 19–01–00704.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Королук В.С., Турбин А.Ф. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем. Киев: Наукова думка, 1982. 236 с.
2. Королук В.С. Стохастические модели систем. Отв. ред. А.Ф. Турбин. Киев: Наукова думка, 1989. 208 с.
3. Королук В.С. Суперпозиция процессов марковского восстановления / В.С. Королук // – Кибернетика. – 1981. №4. – С. 121 – 124.
4. Королук В.С. Полумарковские процессы и их приложения / В.С. Королук, А.Ф. Турбин. – К.: Наук. Думка, 1976. – 181 с.
5. Заморёнов М.В., Копп В.Я., Заморёнова Д.В. Метод моделирования регенирирующих систем. Математическое моделирование. 2018. Т. 30. № 6. С. 134–144.

6. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. Пер. с нем. М.: Радио и связь, 1988. 392 с.

7. M. Zamoryonov, O. Chengar, V. Kopp, Y. Rapatskiy. Simulation of a single-component system using the trajectories method taking into account the scheduling preventive maintenance // Cybernetics and Mathematics Applications in Intelligent Systems Proceedings of the 6th Computer Science On-line Conference 2017 (CSOC2017), Vol 2 / Springer International Publishing Switzerland 2017. – P. 264–271 (SCOPUS)

8. Райншке К., Ушаков И.А. Оценка надежности систем с использованием графов. М.: Радио и связь, 1988. 208 с.

9. Peschansky A.I. Semi-Markov Models of One-Server Loss Queues with Recurrent Input. Germany: LAP LAMPERT Academic Publishing, 2013. 138 p.

10. М.В. Заморёнов, В.Я. Копп, Д.В. Заморёнова, А.А. Скидан. Моделирование процесса функционирования обслуживающего устройства с необесцениваемыми отказами методом путей. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 7: в 2 ч. Ч. 1. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016 с. 71–82.

11. В.Я. Копп. Использование метода траекторий для построения полумарковской модели структуры «технологическая ячейка – накопитель». В.Я. Копп, М.В. Заморёнов, Ю.Е. Обжерин, М.Ю. Ларин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление №3(247). Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета, 2016. с. 23–34

Заморёнов Михаил Вадимович

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и компьютерные системы»

299053, г. Севастополь, ул. Университетская, д. 33

Тел.: +7(978)742–00–03

E-mail: zamoryonoff@gmail.com

Заморёнова Дарья Викторовна

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборные системы и автоматизация технологических процессов»

299053, г. Севастополь, ул. Университетская, д. 33

Тел.: +7(978)742–00–04

E-mail: zamik@ukr.net

M.V. ZAMORYONOV, D.V. ZAMORYONOVA

APPROBATION OF THE METHOD OF MODELING REGENERATING SYSTEMS ON THE EXAMPLE OF MODELING THE PROCESS OF FUNCTIONING OF A SINGLE COMPONENT SYSTEM WITH REGARD TO CALENDAR PREVENTION

Abstract. *In this article, an approbation of the method developed by the authors for modeling regenerating systems with a common phase space of states is carried out by comparing the results of phase enlargement made by the proposed method and the classical one known from the literature. The process of functioning of a single-component system is considered, taking into account calendar prophylaxis. A theorem on the distribution functions of the residence time in a subset of continuous states is given. The distribution functions of random variables — the residence times of the enlarged system in states, the transition probabilities of such a system, and the stationary distribution of a nested Markov chain are determined. The obtained expressions are compared with those known from the literature, obtained by the classical method, which require solving integral equations and the subsequent transition from a system with a common phase space of states to a system with discrete states using the phase enlargement algorithm.*

Keywords: *semi-Markov system, stationary distribution, calendar prophylaxis, regenerating system.*

BIBLIOGRAPHY

1. Korolyuk V. S., Turbin A. F. Markov recovery processes in system reliability problems. Kyiv: Naukova Dumka, 1982. 236 p.

2. Korolyuk V. S. Stochastic models of systems. OTV. edited by A. F. Turbin. Kyiv: Naukova Dumka, 1989. 208 p.

3. Korolyuk V. S. Superposition of Markov recovery processes / V. S. Korolyuk // – Cybernetics. – 1981. No. 4. – P. 121 – 124.

4. Korolyuk V. S. semi-Markov processes and their applications / V. S. Korolyuk, A. F. Turbin. – K.: Of Sciences. Dumka, 1976. – 181 p.

5. Zamoryonov M. V., Kopp V. Ya., Zamoryonova D. V. Method of simulation of regenerating systems. Mathematical modeling. 2018. Vol. 30. No. 6. P. 134–144.

6. Beichelt F., Franken P. Reliability and maintenance. Mathematical approach. Per. with it. M.: Radio and communication, 1988. 392 PP.

7. M. Zamoryonov, O. Chengar, V. Kopp, Y. Rapatskiy. Simulation of a single-component system using the trajectories method taking into account the scheduling preventive maintenance // Cybernetics and Mathematics Applications in Intelligent Systems Proceedings of the 6th Computer Science On-line Conference 2017 (CSOC2017), Vol 2 / spring international Publishing Switzerland 2017. – P. 264–271 (SCOPUS)

8. Rinske K., Ushakov I. A. reliability of systems using graphs. M.: Radio and communication, 1988. 208 p.

9. Peschansky A. I. Semi-Markov Models of One-Server Loss Queues with Recurrent Input. Germany: LAP LAMPERT Academic Publishing, 2013. 138 p.

10. M. V. Zamoryonov, V. Ya. Kopp, D. V. Zamoryonova, A. A. Skidan. Modeling of process of functioning of the operating device palestiniadi rejection method ways. News of Tula state University. Technical science. Issue. 7: at 2 h. 1. Tula: publishing House of Tulgu, 2016 p. 71–82

11. Kopp V. Ya. Using the trajectory method to construct a semi-Markov model of the "technological storage cell" structure. V. J. Kopp, M. V. Zamoryonov, J. E. Obzherin, M. Y. Larin // Nauchno-tehnicheskie Vedomosti SPbGPU. Informatics. Telecommunications. Management №3(247). St. Petersburg: publishing House of Polytechnic University, 2016. p. 23–34

Zamoryonov Mikhail Vadimovich

Federal State Autonomous educational institution
"Sevastopol state University", Sevastopol
Candidate of technical Sciences, associate Professor of
"Information technologies and computer systems"
299053, Sevastopol, Universitetskaya str., 33
Ph.: +7(978)742–00–03
E-mail: zamoryonoff@gmail.com

Zamoryonova Darya Viktorovna

Federal State Autonomous educational institution
"Sevastopol state University", Sevastopol
Candidate of technical Sciences, associate Professor of
"Instrument systems and automation of technological
processes"
299053, Sevastopol, Universitetskaya str., 33
Ph.: +7(978)742–00–04
E-mail: zamik@ukr.net

УДК 621.65

Е.А. ИВАНОВ, В.А. КАЛАЕВ, С.А. ШУМИЛИН

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ВАРИАНТ ИСПОЛНЕНИЯ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ГЦН 22600–87

Аннотация. Рассмотрены два варианта исполнения проточной части на заданные параметры с различной частотой вращения для существующей сферической напорной камеры. Тихоходный вариант $P_s = 289$ имеет рабочее колесо и лопаточный направляющий аппарат, а быстроходный $P_s = 385$ имеет рабочее колесо и разгруженную спиральную камеру. Выполненные результаты гидродинамического расчета показывают существенное снижение гидравлических потерь по быстроходному варианту.

Ключевые слова: рабочее колесо, направляющий аппарат, быстроходность, результаты гидродинамического расчета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жарковский А.А. Морозов М.П., Шумилин С.А. Математические модели рабочих процессов лопастных гидромашин. Автоматизированное проектирование и оценка энергокавитационных показателей лопастных систем. СПб. Издательство СПбГПУ, 2002 г 47 с

2. Насосы АЭС Справочное пособие под редакцией П.Н.Пака Энергоатомиздат, 1989 г, 328 с.

3. Казанцев Р.П. Конструкции проточных частей главных циркуляционных насосов (ГЦН) для энергетических блоков АЭС. Труды международной н-т конференции, СПб, Издательство СПбГПУ, 2006 г. С.108–11.

4. Патент на полезную модель № 184436 от 25.10.2018 Авторы: Калаев В.А., Иванов Е.А., Шумилин С.А.

Иванов Евгений Александрович
ОАО «НПО ЦКТИ»
191167, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Атаманская, 3/6.
Тел.: +7(965)087–60–96
E-mail: 20evgeniy08@mail.ru

Калаев Владимир Анатольевич
ОАО «НПО ЦКТИ»
191167, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Атаманская, 3/6.
Тел.: +7(981)702–87–94
E-mail: kalaevVA@ckti.ru

Шумилин Сергей Александрович
ОАО «НПО ЦКТИ»
191167, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Атаманская, 3/6.
Тел.: +7(911)242–21–29
E-mail: shumilinSA@ckti.ru

Е.А. IVANOV, V.A. KALAEV, S.A. SHUMILIN

ALTERNATIVE VARIANT OF THE DESIGN OF THE FLOW PART OF THE MAIN CIRCULATION PUMP 22600–87

Abstract. Two variants of the design the flow part with different rotation speed of impeller for existing spherical pressure chamber is presented. Low specific speed variant, $ns = 289$, has the impeller and diffuser vanes, high specific speed variant, $ns = 385$, has impeller and unloaded volute. Results of the hydrodynamic calculation show essential decrease hydraulic losses for high specific speed variant.

Keywords: impeller, diffuser vanes, specific speed, results of the hydrodynamic calculation.

BIBLIOGRAPHY

1. Jarkovskii A.A. Morozov M.P., Shýmilin S.A. Matematicheskie modeli rabochih protsessov lopastnyh gidromashin. Avtomatizirovannoe proektirovanie i otsenka energokavitatsionnyh pokazatelei lopastnyh sistem. SPb. Izdatelstvo SPbGPÝ, 2002 g 47 s
2. Nasosy AES Spravochnoe posobie pod redaktsiei P.N.Paka Energoatomizdat, 1989 g, 328 s.
3. Kazantsev R.P. Konstrýktsii protochnykh chastei glavnykh tsirkýlatsionnykh nasosov (GTsN) dlia energeticheskikh blokov AES. Trýdy mejdýnarodnoi n-t konferentsii, SPb, Izdatelstvo SPbGPÝ, 2006 g. S.108–11
4. Patent na poleznýy model № 184436 ot 25.10.2018 Avtory: Kalaev V.A., Ivanov E.A., Shýmilin S.A.

Ivanov Evgeniy Alexandrovich
ОАО «НПО ЦКТИ»
191167, Russia, St. Petersburg,
Atamanskaia, 3/6.
Tel.: +7(965)087–60–96
E-mail: 20evgeniy08@mail.ru

Kalaev Vladimir Anatolievich
ОАО «НПО ЦКТИ»
191167, Russia, St. Petersburg,
Atamanskaia, 3/6.
Tel.: +7(981)702–87–94
E-mail: kalaevVA@ckti.ru

Shumilin Sergei Alexandrovich
ОАО «НПО ЦКТИ»
191167, Russia, St. Petersburg,
Atamanskaia, 3/6.
Tel.: +7(911)242–21–29
E-mail: shumilinSA@ckti.ru

УДК 621.65

Е.А. ИВАНОВ, В.А. КАЛАЕВ, С.А. ШУМИЛИН

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОПАСТНОЙ СИСТЕМЫ ТУРБОНАСОСНОГО АГРЕГАТА ЖРД 170

Аннотация. Выполнен проверочный гидродинамический расчет проточной части турбонасосного агрегата, состоящего из насосов окислителя и горючего. Проточная часть центробежного насоса с предвключенным осевым колесом рассмотрена в двух вариантах исполнения. Показано преимущество проточной части с рабочим колесом двустороннего входа по кавитационным показателям и конструктивными особенностями.

Ключевые слова: рабочее колесо, быстроходность, предвключенное колесо, результаты гидродинамического расчета, кавитационный коэффициент быстроходности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.А. Иванов, А.М. Каширин, Е.Н. Ромасенко, Л.А. Толстиков Турбонасосные агрегаты ЖРД конструкции НПО Энергомаш. Конверсия в машиностроении 2006 г N 1.
2. А.А. Жарковский, М.П. Морозов, С.А. Шумилин Математические модели рабочих процессов лопастных гидромашин. Автоматизированное проектирование и оценка энергокавитационных показателей лопастных систем. СПб, Издательство СПбГПУ, 202 г, 47.

Иванов Евгений Александрович
ОАО «НПО ЦКТИ»
191167, Россия, Санкт–Петербург,
ул. Атаманская, 3/6.
Тел.: +7(965)087–60–96
E-mail: 20evgeniy08@mail.ru

Калаев Владимир Анатольевич
ОАО «НПО ЦКТИ»
191167, Россия, Санкт–Петербург,
ул. Атаманская, 3/6.
Тел.: +7(981)702–87–94
E-mail: kalaevVA@ckti.ru

Шумилин Сергей Александрович
ОАО «НПО ЦКТИ»
191167, Россия, Санкт–Петербург,
ул. Атаманская, 3/6.
Тел.: +7(911)242–21–29
E-mail: shumilinSA@ckti.ru

Е.А. IVANOV, V.A. KALAEV, S.A. SHUMILIN

IMPROVEMENT OF EFFICIENCY AND CAVITATION PROPERTIES OF TURBINE-DRIVEN PUMPS FOR LIQUID-PROPELLANT ENGINE

Abstract. *Checking fluid dynamic calculation of turbine-driven pump unit, consisting of oxidizer and fuel pumps was carried out. Two version of centrifugal pump with axial inducer were considered. It is shown that impeller with double-suction is preferable from the point of view cavitation properties and structural features.*

Keywords: *impeller, specific speed, inducer, fluid dynamic calculation results, cavitation specific speed.*

BIBLIOGRAPHY

1. V.A. Ivanov, A.M. Kashirin, E.N. Romasenko, L.A. Tolstikov Търбонасосные агрегаты JRD конструкторского NPO Energomash. Конверсия в машиностроении 2006 г. N 1.
2. A.A. Jarkovskii, M.P. Morozov, S.A. Shymilin Matematicheskie modeli rabochih protsessov lopastnyh gidromashin. Avtomatizirovannoe proektirovanie i otsenka energokavitatsionnykh pokazatelei lopastnykh sistem. SPb, Izdatelstvo SPbGPY, 202 g, 47.

Ivanov Evgeny Aleksandrovich
JSC "NPO CKTI"
191167, Russia, St. Petersburg, ul.
Ataman, 3/6.
Tel.: +7 (965) 087-60-96
E-mail: 20evgeniy08@mail.ru

Kalaev Vladimir Anatolyevich
JSC "NPO CKTI"
191167, Russia, St. Petersburg, ul.
Ataman, 3/6.
Tel.: +7 (981) 702-87-94
E-mail: kalaevVA@ckti.ru

Shumilin Sergey Alexandrovich
JSC "NPO CKTI"
191167, Russia, St. Petersburg, ul.
Ataman, 3/6.
Tel.: +7 (911) 242-21-29
E-mail: shumilinSA@ckti.ru

УДК 629.5.017

В.С. ИГНАТОВИЧ, А.В. КУЗЬМИНА

ОСНОВНЫЕ РИСКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПЛАВУЧИХ БУРОВЫХ УСТАНОВКАХ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИХ СНИЖЕНИЮ

Аннотация. В статье выполнен анализ основных причин, вызывающих аварийные ситуации плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. Результаты расчёта количественной оценки риска (индивидуальный риск) представлены в виде круговой диаграммы. Проанализированы аварийные ситуации, их результаты, а также повреждения ПБУ под действием различных факторов, связанных с проектированием, строительством и эксплуатацией этих сооружений в процессе разведки и добычи нефти и газа. Выделены три основные типа причин, вызывающих возникновения рисков нарушения надёжности, прочности и экологической безопасности ПБУ: внешние повреждения ПБУ в результате их столкновения с судами, аварий вертолётов и их падения на палубу ПБУ, несоблюдение требований безопасной буксировки, монтажа стационарных платформ в море; возможное открытое фонтанирование скважины, воспламенение аварийного фонтана; недостаточное качество проектирования, технологии постройки и должного уровня контроля состояния конструкций в различных режимах эксплуатации. Одной из главных причин нарушения требований эксплуатации является человеческий фактор. Предложен системный подход для более эффективного изучения прочности, надёжности и экологической безопасности сооружений, обеспечивающий возможность выявления слабых элементов и узлов в конструкции и предотвращение их разрушения. Предложены также основные мероприятия по снижению возможных рисков возникновения аварийных ситуаций на ПБУ. Наиболее важным является определение степени ответственности и действия персонала в нештатных, аварийных ситуациях, необходимость повышения качества профессиональной подготовки обслуживающего персонала и обеспечение строгого соблюдения производственной дисциплины при всех эксплуатационных режимах.

Ключевые слова: плавучая буровая установка, повреждение, прочность, экологическая безопасность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Игнатович, В.С. Принципы проектирования и пути повышения надёжности современных самоподъёмных плавучих буровых установок/ В.С. Игнатович, А.В. Кузьмина // Вестник СевНТУ. Вып. 87: Механика, энергетика, экология: сб. науч. тр. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2008. – С. 145 – 149.
2. WORD Static Report 1998, Statistics on Accidents to Offshore Units Engaged in Oil and Gas Producers (OGP)
3. Буров, А. Состояние аварийности на флоте и меры ее профилактики [Текст] / А. Буров, Н. Бритарев // Морской флот. – 2003. – № 1. – с. 14–16.

4. Игнатович, В.С. Некоторые вопросы безопасности самоподъёмных плавучих буровых установок / В.С. Игнатович, А.В. Василенко // Актуальные вопросы проектирования, постройки и эксплуатации морских судов и сооружений: труды региональной научно—практической конференции, Севастополь, 15—16 ноября 2017 г. / М—во образования и науки РФ; Севастопольский государственный университет; науч. ред. В.И. Истомин. — Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2018. — С. 100—109.

5. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ: в 4 т. Российский морской регистр судоходства. — СПб.: Транспорт, 2014. — 484 с.

6. Инструкция по предупреждению газонефтеводопроявлений и открытых фонтанов при строительстве и ремонте скважин в нефтяной и газовой промышленности (РД 08—254—98). Серия 08. Выпуск 16, / Колл. Авт. — М.: Закрытое акционерное общество «Научно—технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2010. — 32 с.

7. E&P Forum, “Workshop on Data in Oil and Gas Quantitative Risk Assessments”, Associations of the period 1970—1997, DNW/ Report No. 11.7/205, January 1994.

Игнатович Владилен Сергеевич

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
кандидат технических наук, доцент
кафедра «Океанотехника и кораблестроение»
г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. (8692) 54—28—55, М. Т. +79788536457
E-mail: v.s.ignatovich@mail.ru

Кузьмина Анна Валентиновна

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
старший преподаватель
кафедра «Океанотехника и кораблестроение»
г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. (8692) 54—28—55, М. Т. +79788475349
E-mail: a.61kuzmina@mail.ru

V.S. IGNATOVICH, A.V. KUZMINA

MAJOR RISKS OF EMERGENCY SITUATIONS IN FLOAT DRILLING INSTALLATIONS AND ACTIONS TO REDUCE THEM

Abstract. *The article analyzes the main causes of emergency situations of floating drilling rigs and fixed offshore platforms. The results of the calculation of quantitative risk assessment (individual risk) are presented in the form of a pie chart. Analyzed the emergency situations, their results, as well as damage to the PBU under the influence of various factors associated with the design, construction and operation of these facilities in the process of exploration and production of oil and gas. There are three main types of causes that cause risks of compromising reliability, durability and environmental safety during the operation of the PBU: external damage to the PBU as a result of their collision with vessels, accidents of helicopters and their fall on the deck of the PBU, non—compliance with the requirements of safe towing, installation of fixed platforms at sea; possible open well flow, ignition of the emergency fountain; insufficient quality of design, technology of construction and an adequate level of control of the state of structures in various modes of operation. One of the main reasons for the violation of the requirements of exploitation is the human factor. A systematic approach for more effective study of the strength, reliability and environmental safety of structures, providing the ability to identify weak elements and components in the structure and prevent their destruction, is proposed. Also proposed are the main measures to reduce the possible risks of emergency situations at SPBU. The most important is to determine the degree of responsibility and actions of personnel in non—standard, emergency situations, the need to improve the quality of professional training of staff serving and ensure strict observance of production discipline under all operating conditions.*

Keywords: *floating drilling rig, damage, durability, environmental safety.*

BIBLIOGRAPHY

1. Ignatovich, V.S. Design principles and ways to improve the reliability of modern self—lifting floating drilling rigs / V.S. Ignatovich, A.V. Kuzmina // Bulletin of SevNTU. Issue 87: Fur, energy, ecology: Sat. scientific tr. — Sevastopol: Publishing House of SevNTU, 2008. — p. 145 — 149.
2. . WORD Static Report 1998, Units Engaged in Oil and Gas Producers (OGP)
3. Burov, A. The accident rate in the fleet and the measures for its prevention [Text] / A. Burov, N. Brietarev // Sea Fleet. — 2003. — № 1. — p. 14—16.
4. Ignatovich, V.S. Some safety issues of self—lifting floating drilling rigs / V.S. Ignatovich, A.V. Vasilenko // Actual issues of design, construction and operation of marine vessels and structures: works of the regional scientific—practical conference, Sevastopol, November 15 — 16, 2017 / Ministry of Education and Science of the Russian Federation; Sevastopol State University; scientific ed. V. I. Istomin — Sevastopol: Sevastopol State University, 2018. — P. 100—109.

5. Rules for the classification, construction and equipment of floating drilling rigs and fixed offshore platforms: 4 tons. Russian Maritime Register of Shipping. – SPb.: Transport, 2014. – 484 p.

6. Instructions for the prevention of gas and oil shows and open fountains in the construction and repair of wells in the oil and gas industry (RD 08—254—98). Series 08. Issue 16, / Call. Auth. – M.: Closed Joint—Stock Company «Scientific and Technical Center for Research on Industrial Safety Problems», 2010. – 32 p.

7. E&P Forum, «Workshop on Data in Oil and Gas Quantitative Risk Assessments», Associations of the period 1970—1997, DNW/ Report No. 11.7/205, January 1994.

Ignatovich Vladilen Sergeevich

Federal State Educational Institution of Higher Education «Sevastopol State University», Sevastopol
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Graduate Chair of Ocean Technology and Shipbuilding
Sevastopol, st. University, 33
Tel. (8692) 54—28—55, M.T. +79788536457
E—mail: v.s.ignatovich@mail.ru

Kuzmina Anna Valentinovna

Federal State Educational Institution of Higher Education
«Sevastopol State University», Sevastopol
senior teacher
Graduate Chair of Ocean Technology and Shipbuilding
Sevastopol, st. University, 33
Tel. (8692) 54—28—55, M. T. +79788475349
E—mail: a.61kuzmina@mail.ru

УДК 519.615.5

М.А. КОЛЕСОВА, П.А. БУГАЕВ, А.М. ПОЛЯКОВ, Д.О. КОШЕВАЯ

МУЛЬТИВАРИАНТНЫЕ ЛВП–ПОЛИНОМЫ И ГОМОТОПИЯ РЕШЕНИЙ СИСТЕМЫ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Аннотация. Частным случаем нелинейных уравнений являются полиномиальные уравнения, алгоритмы решения которых обоснованы и исследованы наиболее подробно. Тем не менее, общий подход к решению таких уравнений и систем, который мог бы считаться универсальным для решения большинства практических задач до настоящего времени не разработан. Это является побудительным мотивом к поиску новых алгоритмов, адаптированных, как минимум, для решения типовых прикладных задач. Данная работа посвящена развитию обоснованного нами ранее метода решения систем полиномиальных уравнений с вещественными коэффициентами, относящегося к семейству методов лаггеровского типа. Показано, что этот метод близок по форме к методу гомотопии, который, например, эффективен при решении задач оптимизации невыпуклых функций. Его эффективность и преимущества по сравнению с известными методами продемонстрирована на примере исследования математических моделей реальных объектов и систем.

Ключевые слова: полиномиальное уравнение, система полиномиальных уравнений с вещественными коэффициентами, метод Ньютона, метод гомотопии, семейство методов лаггеровского типа.

Данная работа выполнена в соответствии с программой работ по проекту «Модернизация, настройка и подготовка к натурным испытаниям опытного образца активного трансформаторного протеза с интеллектуально–синергетической системой управления» в рамках внутреннего гранта ФГАО ВО «Севастопольский государственный университет».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chow, S.N. Homotopy method for locating all zeros of a system of polynomials/S.N. Chow, J. Mallet–Paret, J.A. Yorke//In H.O. Peitgen and H.O. Walther, editors: Functional differential equations and approximation of fixed points.–Berlin: Springer Verlag, 1979, Vol. 730 of Lecture Notes in Mathematics.–P. 77–88.
2. Li, T.Y. Numerical solution of polynomial systems by homotopy continuation methods/T.Y. Li//In F. Cucker, editor: Handbook of Numerical Analysis.–Amsterdam:North–Holland, 2003, Vol. XI: Special Volume: Foundations of Computational Mathematics.–P. 209–304.
3. Li, T.Y. Regularity results for solving systems of polynomials by homotopy method/T.Y. Li, T. Sauer//Numerical Mathematics. – 1987, Vol. 50, No 3.–P. 283–289.
4. Li, T.Y. Nonlinear homotopies for solving deficient polynomial systems with parameters/ T.Y. Li, X. Wang//SIAM Journal Numerical Analysis. – 1992, Vol. 29, No 4. – P. 1104–1118.
5. Sommese, A.J. Homotopies for intersecting solution components of polynomial systems/ A.J. Sommese, J. Verschelde, C.W. Wampler//SIAM Journal Numerical Analysis. – 2004, Vol. 42, No 4. – P. 1552–1571.
6. Wampler, C.W. Solving the kinematics of general 6R manipulators using polynomial continuation/ C.W. Wampler, A.P. Morgan// In: Robotics: Applied Mathematics and Computational Aspects, K. Warwick, editor. – Oxford: Clarendon Press, 1993. – P. 57–69.

7. Park, C.-H. What is the homotopy method for a system of nonlinear equations (survey)?/ C.-H. Park, H.-T. Shim// Journal of Applied Mathematics and Computing. – 2005, Vol. 17, No 1–2– 3. – P. 689–700.
8. Poliakov, O. Manipulator synthesis on the given properties of working space. Application of polynomials with linear real parameter/O. Poliakov, M. Kolesova, et al./Proc. 2010 IEEE Int. Conf. on System, Man and Cybernetics, Istanbul, Turkey, 2010.–P. 4325–4332.
9. Поляков, А.М. Численно–аналитический метод решения задач кинематики шарнирных механизмов с несколькими степенями подвижности/А.М. Поляков, М.А. Колесова, Е.А. Чепенюк//Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении.–2012.–№1.– С. 90–96.
10. Поляков А.М. Приложения нового численного метода решения систем полиномиальных уравнений к задачам кинематики шарнирных механизмов/А.М. Поляков// Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – 2012, №1.– С. 120–126.
11. Hansen, E. A family of root finding methods/ E. Hansen, M. Patrick// Numerical Mathematics. – 1977, Vol. 27. – P. 257–269.
12. Тихонов, О.Н. О быстром вычислении наибольших корней многочлена/ О.Н. Тихонов// Записки Ленинградского института им. Г.В. Плеханова. – 1968, Том. XLVIII, Вып. 3. – С. 36–41.
13. Polyakov, A. A numerical solving algorithm for polynomial equation systems/A. Polyakov//Applied Automatic Systems: Proc. of Selected AAS 2009 Papers. Macedonia, Ohrid, 26–29 september 2009. – P. 109–112.
14. Poliakov, O. New Laguerres Type Method for Solving of a Polynomial Equations Systems/O. Poliakov, Y. Pashkov, M. Kolesova, O. Chepenyuk, M. Kalinin, V. Kramar//WASET. – 2012. – Vol. 69. – P. 888–893.
15. Ortega, J.M. Iterative solution of nonlinear equation in several variables/ J.M. Ortega, W.C. Rheinboldt. – N.-Y – London: Academic Press, 1970.
16. Kearfott, R.P. Some tests of generalized bisection/ R.P. Kearfott// ACM Transactions on Mathematical Software. – 1987, Vol. 13, No 3. – P. 197–220.

Колесова Марина Александровна

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
старший преподаватель кафедры высшей математики
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, РФ
Тел.: +7 978 045 69 82
e-mail: marishaclass@mail.ru

Поляков Александр Михайлович

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
канд. техн. наук, доцент кафедры технической механики и машиноведения
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, РФ
Тел.: +7 978 703 88 26
e-mail: a.m.poljakov@sevsu.ru

Бугаев Павел Александрович

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
канд. техн. наук, доцент кафедры судовождения и безопасности мореплавания
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, РФ
Тел.: +7 978 855 61 40
e-mail: pasha_ba@mail.ru

Кошевская Даяна Олеговна

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» Политехнический институт
студент
Тел.: +7 978 1101462
e-mail: eddygrave@mail.ru

M.A. KOLESOVA, P.A. BYGAYOV, A.M. POLIAKOV, D.O. KOSHEVAYA

MULTI-VARIANT LRP-POLYNOMIALS AND HOMOTOPY OF SOLUTIONS OF POLYNOMIAL EQUATIONS SYSTEM

Abstract. *A particular case of nonlinear equations are polynomial equations, the algorithms for solving which are justified and investigated in the most detail. However, a general approach to solving such equations and their systems that could be considered universal for solving most practical problems has not yet been developed. This is an incentive to search for new algorithms, adapted, at least, to solve typical applied problems. This paper is devoted to the development of a method for the solving of polynomial equations systems with real coefficients that we have previously established, which relates to a family of Lagerr type methods. It is shown that this method is close in form to the method of homotopy, which, for example, is effective in solving problems of optimization of nonconvex functions. Its efficiency and advantages in comparison with the known methods are demonstrated on the example of the study of mathematical models of real objects and processes.*

Keywords: *polynomial equation, polynomial equations system with real coefficients, Newton method, method of homotopy, family of Lagerr type methods.*

BIBLIOGRAPHY

1. Chow, S.N. Homotopy method for locating all zeros of a system of polynomials/S.N. Chow, J. Mallet-Paret, J.A. Yorke//In H.O. Peitgen and H.O. Walther, editors: Functional differential equations and approximation of fixed points.–Berlin: Springer Verlag, 1979, Vol. 730 of Lecture Notes in Mathematics.–P. 77–88.
2. Li, T.Y. Numerical solution of polynomial systems by homotopy continuation methods/T.Y. Li//In F. Cucker, editor: Handbook of Numerical Analysis.–Amsterdam:North-Holland, 2003, Vol. XI: Special Volume: Foundations of Computational Mathematics.– P. 209–304.
3. Li, T.Y. Regularity results for solving systems of polynomials by homotopy method/T.Y. Li, T. Sauer//Numerical Mathematics. – 1987, Vol. 50, No 3.–P. 283–289.
4. Li, T.Y. Nonlinear homotopies for solving deficient polynomial systems with parameters/ T.Y. Li, X. Wang//SIAM Journal Numerical Analysis. – 1992, Vol. 29, No 4. – P. 1104–1118.
5. Sommese, A.J. Homotopies for intersecting solution components of polynomial systems/ A.J. Sommese, J. Verschelde, C.W. Wampler//SIAM Journal Numerical Analysis. – 2004, Vol. 42, No 4. – P. 1552–1571.
6. Wampler, C.W. Solving the kinematics of general 6R manipulators using polynomial continuation/ C.W. Wampler, A.P. Morgan// In: Robotics: Applied Mathematics and Computational Aspects, K. Warwick, editor. – Oxford: Clarendon Press, 1993. – P. 57–69.
7. Park, C.–H. What is the homotopy method for a system of nonlinear equations (survey)?/ C.–H. Park, H.–T. Shim// Journal of Applied Mathematics and Computing. – 2005, Vol. 17, No 1–2– 3. – P. 689–700.
8. Poliakov, O. Manipulator synthesis on the given properties of working space. Application of polynomials with linear real parameter/O. Poliakov, M. Kolesova, et al.//Proc. 2010 IEEE Int. Conf. on System, Man and Cybernetics, Istanbul, Turkey, 2010.–P. 4325–4332.
9. Poliakov, A.M. Numerical–analytical method for solving problems of kinematics of hinged mechanisms with several degrees of freedom / A.M. Polyakov, M.A. Kolesova, E.A. Chepenyuk//New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering. – 2012. – №1. – P. 90–96.
10. Poliakov A.M. Applications of a new numerical method for solving polynomial equations systems to problems of kinematics of hinge mechanisms/A.M. Poliakov//New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering. – 2012, №1. – P. 120–126.
11. Hansen, E. A family of root finding methods/ E. Hansen, M. Patrick// Numerical Mathematics. – 1977, Vol. 27. – P. 257–269.
12. Tikhonov, O.N. On the fast calculation of largest roots of a polynomial / O.N. Tikhonov // Notes of Leningrad Institute name aftr G.V. Plekhanov. – 1968, Vol. XLVIII, No. 3. – P. 36–41.
13. Polyakov, A. A numerical solving algorithm for polynomial equation systems/A. Polyakov//Applied Automatic Systems: Proc. of Selected AAS 2009 Papers. Macedonia, Ohrid, 26–29 september 2009. – P. 109–112.
14. Poliakov, O. New Laguerres Type Method for Solving of a Polynomial Equations Systems/O. Poliakov, Y. Pashkov, M. Kolesova, O. Chepenyuk, M. Kalinin, V. Kramar//WASET. – 2012. – Vol. 69. – P. 888–893.
15. Ortega, J.M. Iterative solution of nonlinear equation in several variables/ J.M. Ortega, W.C. Rheinboldt. – N.–Y – London: Academic Press, 1970.
16. Kearfott, R.P. Some tests of generalized bisection/ R.P. Kearfott// ACM Transactions on Mathematical Software. – 1987, Vol. 13, No 3. – P. 197–220.

Kolesova Marina Alexandrovna

FSAEI HE “Sevastopol State University”,
Senior Lecturer, Department of Higher Mathematics
Universitetskaya str., 33, Sevastopol, RF
Phone.: +7 978 045 69 82
e-mail: marishaclass@mail.ru

Poliakov Aleksandr Mikhaylovich

FSAEI HE “Sevastopol State University”,
PhD, Associate professor, Department of Engineering
Mechanics and Machinery,
Universitetskaya str., 33, Sevastopol, RF
Phone:+7 978 703 88 26
e-mail: a.m.poljakov@sevsu.ru

Bugayov Pavel Alexandrovich

FSAEI HE “Sevastopol State University”,
PhD, Associate Professor, Department of Ship Handling
and Safety of Navigation
Universitetskaya str., 33, Sevastopol, RF
Phone: +7 978 855 61 40
e-mail: pasha_ba@mail.ru

Koshevaya Dayana Olegovna

FSAEI HE “Sevastopol State University”,
Polytechnical Institute
Student
Universitetskaya str., 33, Sevastopol, RF
Phone: +7 978 1101462
e-mail: eddygrave@mail.ru

УДК 681.2.083

В.Я. КОПП, А.И. БАЛАКИН, Н.А. БАЛАКИНА

**ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ
АППРОКСИМАЦИИ ПРИ АНАЛИЗЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ
ЭНТРОПИИ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН, СОСРЕДОТОЧЕННЫХ
НА КОНЕЧНОМ ИНТЕРВАЛЕ**

Аннотация. Рассматривается вопрос определения оптимального числа многократных измерений исходя из вида плотности распределения погрешности средства измерения. Приводится оценка возможности использования полиномиальной аппроксимации при анализе дифференциальной энтропии случайной величины, сосредоточенной на конечном интервале. Рассмотрены ограничения по использованию полиномов различных степеней, полученных при разложении функции в ряд Тейлора, при проведении аппроксимации, вызванные недостаточной точностью расчетов. Показано, что возможности использование полиномиальной аппроксимации при анализе дифференциальной энтропии случайных величин, сосредоточенных на конечных интервалах сильно ограничены. Приведены результаты моделирования, позволяющие оценить правильность сделанных выводов.

Ключевые слова: дифференциальная энтропия, повышение точности измерений, полиномиальная аппроксимация, случайная величина.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научного проекта №18–48–920014.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РМГ 64–2003 «ГСИ. Обеспечение эффективности при управлении технологическими процессами. Методы и способы повышения точности измерений»
2. Новицкий, П.В. Основы информационной теории измерительных устройств /П.В. Новицкий. – Л.: Энергия, 1968. – 248 с.
3. Новицкий, П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – 2–е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991.
4. Копп, В.Я. Определение граничной оценки числа многократных двухпараметрических измерений на основе анализа дифференциальной энтропии / В.Я. Копп, А.И. Балакин, О.В. Филипповичи и др. // Вестник СевНТУ № 83. – Севастополь, 2007. – С.168–171.
5. Копп, В.Я. Информационный анализ диапазонов измерений / В.Я. Копп, А.А. Скидан, В.М. Шарапов и др. // Оптимизация производственных процессов: Сб. науч. тр. Вып.10. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007. – С. 196 – 199.
6. Копп, В.Я. Анализ дифференциальной энтропии при технических измерениях в Машино–приборостроении / В.Я. Копп, А.А. Скидан, А.И. Балакин, О.В. Филиппович // "Труды Одесского политехнического университета" научный и производственно–практический сборник по техническим и естественным наукам – выпуск 1(27) Одесса 2007. –С.214–218.
7. Копп, В.Я., Скидан А.А., Васютенко А.П. Оптимальная оценка числа измерений приборных систем // Вестник СевНТУ. Вып. 36: Автоматизация процессов и управление: Сб. науч. тр. – Севастополь, 2002. – С. 75 – 80.
8. Копп, В.Я. Использование принципа максимума энтропии при оценке требуемого числа измерений для приборных систем / В.Я. Копп, А.И. Балакин, Е.А. Чуйко, М.В. Заморёнов // Технологічні комплекси: науковий журнал. – Луцьк, 2013. – №2(28). – С.52 – 58.
9. Джейнс, Э.Т. О логическом обосновании методов максимальной энтропии/ Э.Т. Джейнс // Труды института инженеров по электротехнике и электронике, т. 70, №9, 1982, С. 33–51.
10. Браславский, Д.А. Точность измерительных устройств / Д.А. Браславский, В.В. Петров. – М.: Машиностроение, 1976.– 312с.
11. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Вентцель Е.С., Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1988.– 480с.
12. Вострокнутов, Н.Г. Информационно – измерительная техника / Н.Г. Вострокнутов, Н.Н. Евтихийев. – М.: Высш. шк., 1977.– 232с.
- 13.Кемпинский, М.М. Точность и надежность измерительных приборов / Кемпинский М.М. – Л.: Машиностроение, 1972.– 264с.
14. Коротков, В.П. Основы метрологии и точности механизмов приборов / В.П.Коротков, Б.А. Тайц. – М.: Изд-во машиностроительной литературы, 1961.– 400с.
15. Мокров, Ю.В. Метрология, стандартизация, сертификация. [Учеб. пособ.] / Мокров Ю.В. – Дубна, 2007. – 132с.
16. Назаров, Н.Г. Метрология. Основные понятия и математические модели / Назаров Н.Г. – М.: «Высшая школа», 2002. – 318с.
17. Орнатский, П.П. Теоретические основы информационно–измерительной техники / Орнатский П.П. – К.: Вища школа, 1983.– 455с.
18. Полишко, С.П. Точность средств измерений / С.П. Полишко, А.Д. Турбенюк. – К.: Вища школа, 1988.– 149с.
19. Рудзит, Я.А. Основы метрологии, точность и надежность в приборостроении / Я.А. Рудзит, В.Н. Плуталов. – М.: Машиностроение, 1990.– 304с.
20. Сурикова, Е.И. Погрешности приборов и измерений / Сурикова Е.И. – Л. Изд-во Ленингр. ун-та, 1975.– 160с.

21. Копп, В.Я. Анализ применимости композиционного закона при измерениях в машино-приборостроении / В.Я. Копп, А.И. Балакин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2017. – № 4–1 (324). – С. 23–36.

22. Копп, В.Я. Анализ максимальной дифференциальной энтропии и дисперсии композиции случайных величин, сосредоточенных на конечных интервалах / В.Я. Копп, А.И. Балакин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2018. – № 4–2 (330). – С. 9–18.

Копп Вадим Яковлевич
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», г.
Севастополь
Доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры
«Приборные системы и
автоматизация технологических
процессов» Севастопольского
государственного университета
299053, г. Севастополь, ул.
Университетская, 33
Тел. 55–00–77
E-mail: v_kopp@mail.ru

Балакин Алексей Игоревич
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», г.
Севастополь
Кандидат технических наук,
доцент, доцент кафедры
«Приборные системы и
автоматизация технологических
процессов» Севастопольского
государственного университета
299053, г. Севастополь, ул.
Университетская, 33
Тел. 55–00–77
E-mail: AIBalakin@sevsu.ru

Балакина Наталья Анатольевна
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», г.
Севастополь
ассистент кафедры «Приборные
системы и автоматизация
технологических процессов»
Севастопольского государственного
университета
299053, г. Севастополь, ул.
Университетская, 33
Тел. 55–00–77
E-mail: NABalakina@sevsu.ru

V.Ya. KOPP, A.I. BALAKIN, N.A. BALAKINA

THE POSSIBILITY OF USING POLYNOMIAL APPROXIMATION IN THE ANALYSIS OF DIFFERENTIAL ENTROPY OF RANDOM VARIABLES CONCENTRATED ON A FINITE INTERVAL

Abstract. *The question of determining the optimal number of multiple measurements based on the form of the density distribution of the error of the measuring instrument is considered. The possibility of using polynomial approximation in the analysis of differential entropy of a random variable concentrated on a finite interval is estimated. The limitations on the use of polynomials of various degrees, obtained by decomposing a function in a Taylor series, during approximation, caused by insufficient accuracy of calculations are considered. It is shown that the possibilities of using polynomial approximation in the analysis of the differential entropy of random variables concentrated at finite intervals are very limited. The results of modeling are given, allowing to estimate the correctness of the conclusions.*

Keywords: *differential entropy, increase of measurement accuracy, polynomial approximation, random variable.*

BIBLIOGRAPHY

1. RMG 64–2003 «GSI. Obespecheniye effektivnosti pri upravlenii tekhnologicheskimi protsessami. Metody i sposoby povysheniya tochnosti izmereniy »
2. Novitskiy P.V. Osnovy teorii izmeritelnykh ustroystv / P.V. Novitskiy. – L.: Energiya, 1968. – 248 s.
3. Novitskiy P.V. Otsenka pogreshnostey rezultatov izmereniy / P.V. Novitskiy, I.A. Zograf. – 2-ye izd., Pererab. i dop. – L.: Energoatomizdat. Leningr. otd-napravleniye, 1991.
4. Kopp V.YA. Opredeleniye granichnoy otsenki chisla mnogokratnykh dvukhparametricheskikh izmereniy na osnove analiza differentsialnoy entropii / V.YA. Kopp, A.I. Balakin, O.V. Filippovich i dr. // Vestnik SevNTU № 83. – Sevastopol, 2007. – S.168–171.
5. Kopp V.YA. Informatsionnyy analiz diapazonov izmereniy / V.YA. Kopp, A.A. Skidan, V.M. Sharapov i dr. // Optimizatsiya proizvodstvennykh protsessov: Sb. nauch. tr. Vyp.10. – Sevastopol: Izd-vo SevNTU, 2007. – S. 196 – 199
6. Kopp V.YA. Analiz differentsialnoy entropii pri tekhnicheskikh izmereniyakh v Mashino priborostroyenii / V.YA. Kopp, A.A. Skidan, A.I. Balakin, O.V. Filipovich // "Trudy Odesskogo politekhnicheskogo universiteta" nauchnyy i proizvodstvenno-prakticheskiy sbornik po tekhnicheskim i yestestvennym naukam – vypusk 1 (27) Odessa 2007. –S.214–218.
7. Kopp V.YA., Skidan A.A., Vasyutenko A.P. Optimalnaya otsenka chisla izmereniy pribornykh sistem // Vestnik SevNTU. Vyp. 36: Avtomatizatsiya protsessov i upravleniye: Sb. nauch. tr. – Sevastopol, 2002. – S. 75 – 80
8. Kopp V.YA. Ispolzovaniye printsipa maksimuma entropii pri otsenke trebuyemogo chisla izmereniy dlya pribornykh sistem / V.YA. Kopp, A.I. Balakin, Ye.A. Chuyko, M.V. Zamoronov // Tekhnologicheskiye komplekсы: nauchnyy zhurnal. – Lutsk, 2013. – №2 (28). – S.52 – 58.

9. Dzheyys E.T. O logicheskom obosnovanii metodov izmereniya entropii / E.T. Dzheyys // Trudy instituta inzhenerov po elektrotekhnike i elektronike, t. 70, №9, 1982, s. 33–51.
10. Braslavskiy D.A. Tochnost izmeritelnykh ustroystv / D.A. Braslavskiy, V.V. Petrov. – M.: Mashinostroyeniye, 1976.– 312s.
11. Venttsel Ye.S. Teoriya veroyatnostey i yeye inzhenernyye prilozheniya / Venttsel Ye.S., L.A. Ovcharov. – M.: Nauka, 1988.– 480s.
12. Vostroknutov N.G. Informatsionno – izmeritelnaya tekhnika / N.G. Vostroknutov, N.N. Yevtikhiyev. – M.: Vyssh. shk., 1977.– 232s.
13. Kempinskiy M.M. Tochnost i nadezhnost izmeritelnykh priborov / Kempinskiy M.M. – L.: Mashinostroyeniye, 1972.– 264s.
14. Korotkov V.P. Osnovy metrologii i tochnosti izmereniy priborov / V.P. Korotkov, B.A. Tayts. – M.: Izd-vo mashinostroitel'noy literatury, 1961.– 400s.
15. Mokrov YU.V. Metrologiya, standartizatsiya, sertifikatsiya. [Ucheb. posob.] Mokrov YU.V. – Dubna, 2007. – 132s.
16. Nazarov N.G. Metrologiya. Osnovnyye ponyatiya i matematicheskiye modeli / Nazarov N.G. – M.: «Vysshaya shkola», 2002. – 318s.
17. Ornatskiy P.P. Teoreticheskiye osnovy informatsionno–izmeritel'noy tekhniki / Ornatskiy P.P. – K.: Vishcha shkola, 1983.– 455s.
18. Polishko S.P. Tochnost sredstv izmereniy / S.P. Polishko, A.D. Turbenok. – K.: Vishcha shkola, 1988.– 149s.
19. Rudzit YA.A. Osnovy metrologii, tochnost i nadezhnost v priborostroyenii / YA.A. Rudzit, V.N. Plutalov. – M.: Mashinostroyeniye, 1990.– 304s.
20. Surikova Ye.I. Pogreshnosti priborov i izmereniy / Surikova Ye.I. – L. Izd-vo Leningr. un-ta, 1975.– 160s.
21. Kopp V.YA. Analiz primenimosti kompozitsionnogo zakona pri izmereniyakh v mashino–priborostroyenii / V.YA. Kopp, A.I. Balakin // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii, 2017. – № 4–1 (324). – S. 23–36.
22. Kopp V.YA. Analiz maksimal'noy differentsial'noy entropii i dispersii kompozitsii sluchaynykh velichin, sosredotochennykh na konechnykh intervalakh / V.YA. Kopp, A.I. Balakin // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii, 2018. – № 4–2 (330). – S. 9–18.

Kopp Vadim Yakovlevich
FSAEI of HE «Sevastopol State University», Sevastopol
Doctor of Technical Sciences,
Professor, Professor of the
Department "Instrument Systems and
Automation of Technological
Processes" of Sevastopol State
University
299053, Sevastopol, st. University,
33
Ph. 55–00–77
E-mail: v_kopp@mail.ru

Balakin Alexey Igorevich
FSAEI of HE «Sevastopol State University», Sevastopol
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, Associate
Professor of the Department
"Instrument Systems and Automation
of Technological Processes" of the
Sevastopol State University
299053, Sevastopol, st. University, 33
Ph. 55–00–77
E-mail: AIBalakin@sevsu.ru

Balakina Natalia Anatolyevna
FSAEI of HE «Sevastopol State University», Sevastopol
Assistant of the Department
"Instrument Systems and
Automation of Technological
Processes" of the Sevastopol State
University
299053, Sevastopol, st. University,
33
Ph. 55–00–77
E-mail: NABalakina@sevsu.ru

УДК 621.7

В.Ю. ЛАВРИНЕНКО

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УДАРА ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ ЗАГОТОВОК НА МОЛОТАХ

Аннотация. Разработана методика численного моделирования процесса удара при осадке заготовок на молотах с помощью пакета прикладных программ «Динамика–2» и программы расчета процесса удара в зернистых средах. Установлено существенное увеличение продолжительности нагрузочной фазы удара и деформации заготовок, снижение силы деформирования и увеличение работы пластической деформации при осадке заготовок бабой молота с наполнителем по сравнению с осадкой стандартной бабой молота. Отмечена высокая сходимость результатов численного расчета с экспериментальными данными.

Ключевые слова: ударное деформирование, численное и компьютерное моделирование, баба молота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Феофанова А.Е., Лавриненко В.Ю. Экспериментальные исследования процесса удара при осадке цилиндрических заготовок // Заготовительные производства в машиностроении. – 2012. – № 2. – С. 12–15.
2. Баженов В.Г., Баранова М.С., Жегалов Д.В., Лавриненко В.Ю., Павленкова Е.В. Построение динамических диаграмм деформирования свинцовых заготовок методом прямого удара на газодинамической копровой установке // Вестник машиностроения. Сдана в печать в июне 2012г.
3. Баженов В.Г., Зефилов С.В., Кочетков А.В. и др. Пакет программ «Динамика–2» для решения плоских и осесимметричных нелинейных задач нестационарного взаимодействия конструкций со сжимаемыми средами // Математическое моделирование. – 2000 – Т.12., № 6. – С. 67–72.
4. Нестеренко В.Ф. Распространение нелинейных импульсов сжатия в зернистых средах // ПМТФ. Журнал прикладной механики и технической физики. – 1983. – №5 (141). – С.136–148.

Лавриненко Владислав Юрьевич

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
Доктор технических наук, заведующий кафедрой «Технология обработки материалов»
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр.1
Тел.: +7 (499) 267-02-36
E-mail: vlavrinenko@bmstu.ru

V.Yu. LAVRINENKO

NUMERICAL SIUMULATION OF IMPACT DURING HAMMER FORGING

Abstract. *The methodic of numerical simulation of impact during upsetting on hammer by application of «Dynamika–2» software and special software of simulation of impact is developed. The increasing of impact time and deformation of the blanks, decreasing of impact load and increasing of plastic work by using of hammer ram with fillet are obtained. High convergence of results of numerical simulation and experimental data is noted.*

Keywords: *impact deformation, numerical and computer simulation, ram of hammer.*

BIBLIOGRAPHY

1. Feofanova A.E., Lavrinenko V.YU. EHksperimentalnye issledovaniya processa udara pri osadke cilindricheskikh zagotovok // Zagotovitelnye proizvodstva v mashinostroenii. – 2012. – № 2. – S. 12–15.
2. Bazhenov V.G., Baranova M.S., ZHegalov D.V., Lavrinenko V.YU., Pavlenkova E.V. Postroenie dinamicheskikh diagramm deformirovaniya svincovykh zagotovok metodom pryamogo udara na gazodinamicheskoy koprovoy ustanovke // Vestnik mashinostroeniya. Sdana v pechat v iyune 2012g.
3. Bazhenov V.G., Zefirov S.V., Kochetkov A.V. i dr. Paket programm «Dinamika–2» dlya resheniya ploskikh i osesimmetrichnykh nelinejnykh zadach nestacionarnogo vzaimodejstviya konstrukcij so szhimaemymi sredami // Matematicheskoe modelirovanie. – 2000 – T.12., № 6. – S. 67–72.
4. Nesterenko V.F. Rasprostranenie nelinejnykh impulsov szhatiya v zernistykh sredah // PMTF. ZHurnal prikladnoj mekhaniki i tekhnicheskoy fiziki. – 1983. – №5 (141). – S.136–148.

Lavrinenko Vladislav Yuriwich

Bauman Moscow State Technical University
Doctor of Tech. Science, Chief of Department «Technology of material working»
105005, Moscow, 2-ya Baumannskaya, 5
Tel.: +7 (499) 267-02-36
E-mail: vlavrinenko@bmstu.ru

УДК 617.3

И.А. МЕЩИХИН, М.Н. МЫСЛИВЕЦ, Д.С. БОБРОВ, А.В. ЛЫЧАГИН, С.С. ГАВРЮШИН

МЕТОДИКА НЕ ИНВАЗИВНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ КОЛЕННОГО СУСТАВА НА ОСНОВЕ СУРРОГАТНОЙ МОДЕЛИ

Аннотация. *Рассмотрена расчетно-экспериментальная методика оценки жесткостных характеристик связочного аппарата коленного сустава. Предлагаемый подход предполагает первичное экспериментальное исследования жёсткости надколенника в различных направлениях. Данная информация служит исходными данными для последующего конечно элементного моделирования для определения жёсткости основных элементов связочного аппарата коленного сустава. Предлагаемый подход позволяет*

выразить критерии патологий коленного сустава в терминах жёсткости надколенника, измерения которых доступно не инвазивно и без дорогостоящего МРТ исследования.

Ключевые слова: коленный сустав; математическая модель; метод конечных элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gasparutto X. et al. Kinematics of the normal knee during dynamic activities: a synthesis of data from intracortical pins and biplane imaging //Applied bionics and biomechanics. – 2017. – Т. 2017.
2. Azar F. M., Canale S. T., Beaty J. H. Campbells operative orthopaedics e-book. – Elsevier Health Sciences, 2016.
3. Liao T. C., Yin L., Powers C. M. The influence of isolated femur and tibia rotations on patella cartilage stress: a sensitivity analysis //Clinical Biomechanics. – 2018. – Т. 54. – С. 125–131.
4. Kazemi M., Li L. P. A viscoelastic poromechanical model of the knee joint in large compression //Medical engineering & physics. – 2014. – Т. 36. – №. 8. – С. 998–1006.
5. Kang K. T. et al. Finite element analysis of the biomechanical effects of 3 posterolateral corner reconstruction techniques for the knee joint //Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery. – 2017. – Т. 33. – №. 8. – С. 1537–1550.
6. Макаров А. М., Кияев В. И. Методы спортивной аналитики в прогнозных моделях //Конвергенция цифровых и материальных миров: экономика, технологии, образование. – 2018. – С. 171–180.
7. Афонин Д. Н. WEB-система поддержки принятия решения в хирургии//Медицинская техника. – 2011. – №. 2. – С. 266.
8. Бурнаев Е. В., Приходько П. В. Методология построения суррогатных моделей для аппроксимации пространственно неоднородных функций //Труды МФТИ. – 2013. – Т. 5. – №. 4. – С. 122–132.
9. Бурнаев Е. В., Зайцев А. А. Суррогатное моделирование разноточных данных в случае выборок большого размера //Информационные процессы. – 2015. – Т. 15. – №. 1. – С. 97–109.
10. Rathnayaka K. et al. Quantification of the accuracy of MRI generated 3D models of long bones compared to CT generated 3D models //Medical engineering & physics. – 2012. – Т. 34. – №. 3. – С. 357–363.
11. Buffinton C. M. et al. Biomechanics of step initiation after balance recovery with implications for humanoid robot locomotion //Journal of biomechanical engineering. – 2016. – Т. 138. – №. 3. – С. 031001.
12. Smeets K. et al. Mechanical Analysis of Extra-Articular Knee Ligaments. Part One: Native knee ligaments //The Knee. – 2017. – Т. 24. – №. 5. – С. 949–956.

Мешихин Илья Александрович
МГТУ им. Н.Э. Баумана.
ассистент преподавателя кафедры
«Компьютерные системы
автоматизации производства».
E-mail: sagezz@yandex.ru

Мысливец Максим Николаевич
ООО "ЭМИРП".
начальник конструкторско–
технологического отдела.
E-mail: m.n.myslivets@gmail.com.

Бобров Дмитрий Сергеевич
ФГАОУ ВО Первый МГМУ им.
И.М. Сеченова Минздрава России
(Сеченовский Университет).
Кафедра травматологии, ортопедии
и хирургии катастроф.
ГКБ имени С.П. Боткина
(Боткинская больница).
Кандидат медицинских наук,
доцент.
E-mail: dsbmed@mail.ru

Лычагин Алексей Владимирович
ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский
университет им. И. М. Сеченова (Сеченовский Университет),
заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и хирургии катастроф.
доктор медицинских наук, профессор.
Заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и хирургии катастроф.
Директор клиники травматологии, ортопедии и патологии суставов.
Телефон: +7 (499) 246–12–17
E-mail: dr.lychagin@mail.ru

Гаврюшин Сергей Сергеевич
МГТУ им. Н.Э. Баумана.
доктор технических наук.
Заведующий кафедры
«Компьютерные системы
автоматизации производства».
E-mail: dr.lychagin@mail.ru

I.A. MESHCHIKHIN, M.N. MYSLIVETS, D.S. BOBROV, A.B. LYCHAGIN, S.S. GAVRYUSHIN

TECHNIQUE NON-INVASIVE ASSESSMENT OF THE KNEE JOINT BASED ON A SURROGATE MODEL

Abstract. Consideration of the experimental design method for assessing the stiffness characteristics of the ligaments of the knee joint. The proposed approach involves the initial experimental study of the stiffness of the patella in various directions. This information uses baseline data for subsequent finite element modeling to determine the basic properties of the knee apparatus. The proposed approaches allow us to express the criteria for the pathology of the knee joints in terms of the stiffness of the patella, the measurements of which are not invasively available and without expensive MRI examinations.

Keywords: knee-joint; mathematical model; finite element method.

BIBLIOGRAPHY

1. Gasparutto X. et al. Kinematics of the normal knee during dynamic activities: a synthesis of data from intracortical pins and biplane imaging //Applied bionics and biomechanics. – 2017. – Т. 2017.
2. Azar F. M., Canale S. T., Beaty J. H. Campbells operative orthopaedics e-book. – Elsevier Health Sciences, 2016.
3. Liao T. C., Yin L., Powers C. M. The influence of isolated femur and tibia rotations on patella cartilage stress: a sensitivity analysis //Clinical Biomechanics. – 2018. – Т. 54. – С. 125–131.
4. Kazemi M., Li L. P. A viscoelastic poromechanical model of the knee joint in large compression //Medical engineering & physics. – 2014. – Т. 36. – №. 8. – С. 998–1006.
5. Kang K. T. et al. Finite element analysis of the biomechanical effects of 3 posterolateral corner reconstruction techniques for the knee joint //Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery. – 2017. – Т. 33. – №. 8. – С. 1537–1550.
6. Makarov A. M., Kiyayev V. I. Metody sportivnoy analitiki v prognoznnykh modelyakh //Konvergentsiya tsifrovyykh i materialnykh mirov: ekonomika. tekhnologii. obrazovaniye. – 2018. – С. 171–180.
7. Afonin D. N. WEV–sistema podderzhki prinyatiya resheniya v khirurgii//Meditsinskaya tekhnika. – 2011. – №. 2. – С. 266.
8. Burnayev E. V., Prikhodko P. V. Metodologiya postroyeniya surrogatnykh modeley dlya approksimatsii prostranstvenno neodnorodnykh funktsiy //Trudy MFTI. – 2013. – Т. 5. – №. 4. – С. 122–132.
9. Burnayev E. V., Zaytsev A. A. Surrogatnoye modelirovaniye raznotochnykh dannyykh v sluchaye vyborok bolshogo razmera //Informatsionnyye protsessy. – 2015. – Т. 15. – №. 1. – С. 97–109.
10. Rathnayaka K. et al. Quantification of the accuracy of MRI generated 3D models of long bones compared to CT generated 3D models //Medical engineering & physics. – 2012. – Т. 34. – №. 3. – С. 357–363.
11. Buffinton C. M. et al. Biomechanics of step initiation after balance recovery with implications for humanoid robot locomotion //Journal of biomechanical engineering. – 2016. – Т. 138. – №. 3. – С. 031001.
12. Smeets K. et al. Mechanical Analysis of Extra-Articular Knee Ligaments. Part One: Native knee ligaments //The Knee. – 2017. – Т. 24. – №. 5. – С. 949–956.

Meschihi Ilya Aleksandrovich
MGU im. N.E. Bauman
assistent prepodavatelya kafedry
«Kompyuternyye sistemy
avtomatizatsii proizvodstva»
E-mail: sagezz@yandex.ru

Myislivets Maksim Nikolaevich
ООО "EMIRP"
nachalnik konstruktorsko–
tehnologicheskogo otдела
E-mail: m.n.myslivets@gmail.com

Bobrov Dmitriy Sergeevich
FGAOU VO Pervyy MGU im.
I.M. Sechenova Minzdrava Rossii
(Sechenovskiy Universitet)
Kafedra travmatologii, ortopedii i
hirurgii katastrof.
GKB imeni S.P. Botkina
(Botkinskaya bolnitsa)
Kandidat meditsinskiy nauk, dotsent
E-mail: dsbmed@mail.ru

Lychagin Aleksey Vladimirovich
FGAOU VO Pervyy Moskovskiy gosudarstvennyy meditsinskiy universitet
im. I. M. Sechenova (Sechenovskiy Universitet). zaveduyushchiy kafedroy
travmatologii, ortopedii i khirurgii katastrof.
doktor meditsinskiy nauk, professor
Zaveduyushchiy kafedroy travmatologii, ortopedii i khirurgii katastrof.
Direktor kliniki travmatologii, ortopedii i patologii sustavov.
Telefon: +7 (499) 246–12–17
E-mail: dr.lychagin@mail.ru

Gavryushin Sergey Sergeevich
MGU im. N.E. Bauman.
doktor tekhnicheskikh nauk.
Zaveduyushchiy kafedroy
«Kompyuternyye sistemy
avtomatizatsii proizvodstva».
E-mail: dr.lychagin@mail.ru

УДК: 629.5.018.1

И.Н. МОРЕВА, Е.В. ХРОМОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВОЛНОВОГО ДЕМПФИРОВАНИЯ МЕТОДОМ СВОБОДНЫХ ЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ

Аннотация. Выполнены экспериментальные исследования для определения коэффициентов волнового демпфирования в опытовом волновом бассейне методом свободных затухающих колебаний.

Ключевые слова: полупогружные морские платформы, коэффициенты демпфирования, экспериментальная модель, опытовый бассейн, экспериментальные исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Салькаев А.З. Расчет гидродинамических сил, действующих на контур произвольной формы и уравнения бортовой качки. – Труды ЦНИИ им. А.Н.Крылова, 1967, вып. 235.
2. Хаскинд А.В. Гидродинамическая теория качки корабля. – М.: Наука, 1973 – 262с.
3. Луговский В.В. Нелинейные задачи мореходности корабля. Л., «Судостроение», 1966.

Морева Ирина Николаевна
Севастопольский
государственный университет,
г. Севастополь
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Океанотехника и
кораблестроение»
Тел.: +78692544232
E-mail: i.n.moreva@mail.ru

Хромов Егор Владимирович
Севастопольский
государственный университет,
г. Севастополь
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Энергоустановки морских судов
и сооружений»
Тел.: +78692243561
E-mail: ev.khromov@mail.ru

I.N. MOREVA, E.V. KHROMOV

DETERMINATION OF COEFFICIENTS OF WAVE DAMPING BY METHOD FREE DAMPED OSCILLATIONS

Abstract. Pilot studies for determination of coefficients of wave damping in the model testing wave basin are executed by method of free damped oscillations.

Keywords: semisubmersible sea platforms, damping coefficients, experimental model, model testing basin, pilot studies.

BIBLIOGRAPHY

1. Salkayev A.Z. Calculation of the hydrodynamic forces operating on a contour of any form and the equation of onboard rolling. – Works of central research institute of A.N. Krylov, 1967, issue 235.
2. Haskind A.V. Hydrodynamic theory of rolling of the ship. – M.: Science, 1973 – 262 p.
3. Lugovsky V.V. Nonlinear problems of seaworthiness of the ship. L., «Shipbuilding», 1966.

Moreva Irina Nikolaevna
Sevastopol state University,
Sevastopol
Candidate of technical Sciences,
Associate Professor the Department
«Ocean Engineering and Shipbuilding»
Ph: + 78692544232
E-mail: i.n.moreva@mail.ru

Khromov Egor Vladimirovich
Sevastopol State University,
Sevastopol
Candidate of technical Sciences,
Associate Professor of the Department
«Ship power plants and structures»
Ph. +78692243561
E-mail: ev.khromov@mail.ru

УДК 681.5:621.432.3

К.Н. ОСИПОВ

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ХОДЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Аннотация. Предлагается адаптивный алгоритм оценки измерительной информации получаемой в ходе производственных (контрольных и приемосдаточных) испытаний конструктивно сложных технических изделий, работающий во временной области и основанный на минимизации информационного критерия (дивергенции) Кульбака–Лейблера. Предлагаемый адаптивный информационный алгоритм оценивания измерений в реальном времени испытаний дает возможность получать состоятельные и несмещенные оценки параметров, характеризующих техническое состояние изделий даже в условиях, когда отсутствует достоверная априорная информация о дисперсии шума в измерительном канале. На примере оценки измерительной информации, получаемой в ходе испытаний двигателей постоянного тока, показано преимущество предлагаемого алгоритма в сравнении с существующими методами. Изучается скорость сходимости оценок измерительной информации к истинным значениям, а также их устойчивость к погрешностям описания базисной функции.

Ключевые слова: диагностика, испытания, моделирование, автоматизированное производство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Охтилев М.Ю. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов / М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов. – М.: Наука, 2006, 410 с.
2. Emmenegger, J.-F., Pervukhina, E., Golikova, V. Harmonic Analysis and Cointegration of Diagnostic Parameter Time Series of Motors, International Journal of Pure and Applied Mathematics, Vol. 82, N 1, P. 143–161.
3. E., Osipov K., Rapatskiy, Y.: Improvement of the acceptance test procedure for the external combustion engine after assembly by using the relationship between diagnostic parameters. Journal of Machinery Manufacture and Reliability, vol.40, num. 2, pp. 171–175. © Allerton Press, Inc. (2011).
4. Анимица Е.Г., Анимица П.Е., Глумов А.А. Импортзамещение в промышленном производстве региона: концептуально–теоретические и прикладные аспекты / Е. Г. Анимица, П. Е. Анимица, А. А. Глумов // Экономика региона. — 2015. — №3. — С. 160–172.
5. Первухина Е.Л., Голикова В.В., Степанченко Т.Л. Информационные технологии в задачах выявления неисправных машиностроительных изделий в ходе приемосдаточных испытаний после сборки // Сборка в машиностроении, приборостроении. – Москва, 2010. – №11. – С.3–8.
6. Juselius K. The Cointegrated VAR Model / K. Juselius. – New York: Oxford University Press Inc., 2006. – 457 p.
7. Pervukhina, E., Osipov, K., Golikova, V. (2015) Lowering toxic concentrations in the diesel exhaust gases // Communications in Computer and Information Science, Special Issue “Optimization in the Natural Sciences,” pp. 118–128.
8. Стрейц В. Метод пространства состояний в теории дискретных линейных систем управления. – М.: Наука. Главная редакция физико–математической литературы, 1985. – 296 с.
9. Y. Bar-Shalom and X. R. Li, Estimation with Applications to Tracking and Navigation, 2001, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA.
10. Первухина Е.Л. Использование информационной меры в процедурах оценки дискретных стохастических систем при неизвестных ковариациях шумов // Известия РАЕН, серия МММИУ, 1999. – т.3. – №3. – С. 100–106.
11. Pervukhina, E., Emmenegger J.-F. Adaptive time series filters obtained by minimization of the Kullback–Leibler divergence criterion // International Journal of Applied Mathematics, 2005. – Vol. 17. – № 1. – P.69–89.

Осипов Константин Николаевич

ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборные системы и автоматизация технологических процессов». 299053, г. Севастополь, ул. Университетская 33.
Тел. +7(8692)–55–00–77
Email: assistanttmm@mail.ru

K.N. OSIPOV

THE ADAPTIVE ESTIMATION ALGORITHM OF MEASUREMENT INFORMATION DURING PRODUCTION TESTING

Abstract. *An adaptive algorithm for evaluation of measurement information obtained during production tests of complex technical products, working in the time domain and based on the minimization of the information criterion of the Kulbak–label, is proposed. The proposed adaptive information algorithm for estimation of measurements in real-time tests makes it possible to obtain consistent and unbiased estimates of the parameters characterizing the technical condition of the products even in conditions where there is no reliable a priori information about the noise dispersion in the measuring channel. The advantage of the proposed algorithm in comparison with the existing methods is shown by the example of evaluation of the measurement information obtained during the tests of DC motors. We study the rate of convergence of the estimates of the measurement information to the true values, as well as their resistance to errors in the description of the basis function.*

Keywords: *complex engineering products, multivariate analysis, diagnostic parameters, reliability of test results.*

BIBLIOGRAPHY

1. Okhtilev Y. M. Intellectual technologies of monitoring and control of structural dynamics of complex technical objects / Okhtilev M. Yu., B. V. Sokolov, R. M. Yusupov. – Moscow: Science, 2006, 410 p.
2. Emmenegger, J.-F., Pervukhina, E., Golikova, V. Harmonic Analysis and Cointegration of Time Series Diagnostic Parameter of Motors, International Journal of Pure and Applied Mathematics, Vol. 82, N 1, P 143–161.
3. E. O. Osipov K., Rapatskiy, Y.: Improvement of the acceptance test procedure for the external combustion engine after assembly by using the relationship between diagnostic parameters. Journal of Machinery Manufacture and Reliability, vol.40, num. 2, pp. 171 to 175. Allerton Press, Inc. (2011).
4. Animitsa E. G., Animitsa E. P., Glumov, A. A. import Substitution in the industrial production of the region: conceptual–theoretical and applied aspects / E. G. Animitsa, P. E. Animitsa, Glumov A. A. // Economy of region. – 2015. – №3. – P. 160–172.

5. Pervukhina E. L., Golikova V. V., Stepanchenko T. L. Information technologies in problems of detection of faulty machine-building products during acceptance tests after Assembly / / Assembly in machine-building, instrument-making. – Moscow, 2010. – №11. – P. 3–8.
6. K. the Cointegrated VAR Model / K. Juselius. New York: Oxford University Press Inc., 2006. – 457 p.
7. Pervukhina E., Osipov, K., Golikova, V. (2015) Lowering toxic concentrations in the diesel exhaust gases // Communications in Computer and Information Science, Special Issue “Optimization in the Natural Sciences,” pp. 118–128.
8. Straits V. state space Method in the theory of discrete linear control systems. – M.: Science. Home edition physical and mathematical literature, 1985. – 296 p.
9. Y. Bar-Shalom and X. R. Li, Estimation with Applications to Tracking and Navigation, 2001, John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA.
10. Pervukhina, E. L. the Use of information measure in procedures for estimation of discrete stochastic systems with unknown noise covariances // Izvestiya of RAEN, series MMMIU, 1999. – vol.3. – №3. – Pp. 100–106.
11. Pervukhina, E., Emmenegger J.-f Adaptive time series of filters obtained by minimization of the Kullback–Leibler divergence criterion // international Jour of applied Mathematics, 2005. – Vol. 17. – № 1. 69–89.

Osipov Konstantin Nikolaevich

Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation, PhD, Docent (Associate Professor), Department of Instrument systems and Automation of Technological Processes 299053, Sevastopol, Universytetskay st. 33.
Тел. +7(8692)–55–00–77
Email: assistantmm@mail.ru

УДК 796.0 (075.8)

Е.В. ПАШКОВ, М.И. КАЛИНИН. И.С. ПАШКОВА

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ШАРОВЫХ ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭНДОПРОТЕЗОВ

Аннотация. На примерах конструкций эндопротезов межпозвонкового диска и тазобедренного сустава человека показано создание с помощью упругих оболочек в виде плоских мембранных коробок и конических сильфонов герметично закрытых полостей для шаровых подвижных соединений и антифрикционной жидкой биологически инертной смазки на основе синовиальной жидкости и наночастиц немодифицированного углерода (фуллерена). Приведены результаты экспериментальных исследований растворов фуллерена, показывающие возможность изменения вязкости смазки, способствующей ее удержанию на контактирующих поверхностях шаровых соединений, а следовательно уменьшению коэффициента трения и износа.

Ключевые слова: эндопротез, шаровое соединение, упругая оболочка, трение, износ, антифрикционная смазка, синовиальная жидкость, фуллерен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2626139 Российская Федерация, МПК A61F 2/44. Спинальный имплантат закрытого исполнения / Пашков Е.В., Калинин М.И., Поляков А.М., Пахалюк В.И.; заявитель и патентообладатель Севастопольский государственный университет. – № 2015128374/14; заявл. 13.07.2015; опубл. 21.07.2017. Бюл. № 21.
2. Пат. 2626137 Российская Федерация, МПК A 61F 2/44. Закрытый эндопротез межпозвонкового диска / Пашков Е.В., Калинин М.И., Поляков А.М., Евстигнеев М.П., Пашкова И.С.; заявитель и патентнообладатель Севастопольский государственный университет. – № 2015128372/14; заявл. 13.07.2015; опубл. 21.07.2017. Бюл. № 21.
3. Чурилов Г.Н. Фуллерены: Синтез и теория образования / Г.Н. Чурилов, Н.В. Булина, А.С. Федоров. – Росс. акад. наук, Сиб. отделение, Новосибирск: Изд-во СОРАН, 2007. – 230 с.
4. Lashneva V.V., Dubok V.A., Tkachenko Ju.G. Physiko – chemical properties of fullerene C₆₀ based coatings// Book of abstract. VIII International Conference – ICHMS 2003, Sudak, Crimea, Ukraine, 14–20 Sept., 2003. – P. 718 – 721.
5. NEW POLYS FOR OLD: CONTRIBUTION OR CAVEAT /S.Greenwald, T.W.Bauer, M.D.Ries /American Academy of orthopaedic surgeons.–68th Annual meeting, February 28 – March 4, 2001, San Francisco, California.
6. Пат. 2653273 Российская Федерация, МПК A61F 2/32, МПК A61F 2/34, МПК A61F 2/36. Биартикулярный жидкостный анатомически адаптируемый эндопротез тазобедренного сустава / Пашков Е.В., Калинин М.И., Пахалюк В.И.; заявитель и патентнообладатель Севастопольский государственный университет. – № 2016117462/14; заявл. 04.05.2016; опубл. 07.05.2018. Бюл. №13.

7. Пат. 2605149 Российская Федерация, МПК A61F 2/32. Закрытый эндопротез тазобедренного сустава / Пашков Е.В., Пашкова И.С., Евстигнеев М.П., Калинин М.И.; заявитель и патентнообладатель Севастопольский государственный университет. – № 2014147426/14; заявл. 25.11.2014; опубл. 20.12.2016. Бюл. №35.

8. Prylutsky Yu.I., Evstigneev M.P., Pashkova I.S., Wyrzykowski D., Woziwodzka A., Gołuński G., Piosik J., Cherepanov V.V., Ritter U. Characterization of C60 fullerene complexation with antibiotic doxorubicin // Phys Chem Chem Phys. 2014. 16. 23164–23172.

9. Mchedlov–Petrosyan N.O. Fullerenes in liquid media: an unsettling intrusion into the solution chemistry // Chem. Rev. 2013.113. P.5149–5193.

10. Sun D., Tham F.S., Reed C.A., Chaker L. and Boyd P.D.W. Supramolecular fullerene–porphyrin chemistry. Fullerene complexation by metalated Jaws Porphyrin hosts // J. Am. Chem. Soc. 2002. 124. 6604–6612.

11. Миронова И.И., Пименова Л.М., Захарова М.М. Предложения по стандартизации клинического лабораторного анализа синовиальной жидкости // Проблемы стандартизации в здравоохранении. 2009. №9. С. 16–29.

12. А.А. Котёлкина, Г.Ю. Стручко, Л.М. Меркулова, О.Ю. Кострова, И.С. Стоменская, Н.Ю. Тимофеева. Характеристика синовиальной жидкости в норме и при некоторых патологических процессах // ActaMedicaEurasica. 2017. №4. С.24–30.

Пашков Евгений Валентинович
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
доктор технических наук,
профессор кафедры «Приборные
системы и автоматизация
технологических процессов»
299053, г. Севастополь, ул.
Университетская, 33
тел. +7(8692)550–077
299053, г. Севастополь, ул.
Университетская, 33
тел. +7(8692)550–077
E-mail: pashkov@sevsu.ru

Калинин Михаил Иванович
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Техническая
механика и машиностроение»
299053, г. Севастополь, ул.
Университетская, 33
тел. +7(8692)435–161
E-mail: kalininsev@mail.ru

Пашкова Ирина Сергеевна
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный
университет», аспирантка кафедры
«Физика»
299053, г. Севастополь, ул.
Университетская, 33
тел. +7(8692)435–110
E-mail: ira_leroy@mail.ru

E.V. PASHKOV, M.I. KALININ. I.S. PASHKOVA

IMPROVEMENT OF WEAR RESISTANCE OF BALL MOBILE CONNECTIONS OF ENDOPROTESIS

Abstract. *By examples of designs of endoprostheses of the intervertebral disk and the hip joint of a person, it was shown that elastic shells in the form of flat membrane boxes and conical bellows are hermetically sealed cavities for spherical movable joints and antifriction liquid biologically inert lubricant based on synovial fluid and nanoparticles of unmodified carbon (fullerene and non-carbon carbon (fullerene-like nanoparticles)). The results of experimental studies of fullerene solutions are presented, showing the possibility of changing the viscosity of a lubricant, contributing to its retention on the contacting surfaces of spherical joints, and therefore a decrease in the coefficient of friction and wear.*

Keywords: *endoprosthesis, ball joint, elastic sheath, friction, wear, antifriction lubricant, synovial fluid, fullerene.*

BIBLIOGRAPHY

1. Пат. 2626139 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A61F 2/44. Spinalnyiy implantat zakryitogo ispolneniya / Pashkov E.V., Kalinin M.I., Polyakov A.M., Pahalyuk V.I.; заявитель и патентнообладатель Севастопольский государственный университет. – # 2015128374/14; заявл. 13.07.2015; опубл. 21.07.2017. Бюл. # 21.

2. Пат. 2626137 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A 61F 2/44. Zakryityy endoprotez mezhpozvonkovogo diska / Pashkov E.V., Kalinin M.I., Polyakov A.M., Evstigneev M.P., Pashkova I.S.; заявитель и патентнообладатель Севастопольский государственный университет. – # 2015128372/14; заявл. 13.07.2015; опубл. 21.07.2017. Бюл. # 21.

3. Churilov G.N. Fullerenyi: Sintez i teoriya obrazovaniya / G.N. Churilov, N.V. Bulina, A.S. Fedorov. – Ross. akad. nauk, Sib. otdelenie, Novosibirsk: Izd-vo SORAN, 2007. – 230 s.

4. Lashneva V.V., Dubok V.A., Tkachenko Ju.G. Physiko – chemical properties of fullerene C60 based coatings// Book of abstract. VIII International Conference – ICHMS 2003, Sudak, Crimea, Ukraine, 14–20 Sept., 2003. – P. 718 – 721.

5. NEW POLYS FOR OLD: CONTRIBUTION OR CAVEAT /S.Greenwald, T.W.Bauer, M.D.Ries /American Academy of orthopaedic surgeons.–68th Annual meeting,February 28 – March 4, 2001, San Francisco, California.
6. Pat. 2653273 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A61F 2/32, MPK A61F 2/34, MPK A61F 2/36. Biartikulyarnyy zhidkostnyy anatomicheski adaptiruemyy endoprotez tazobedrennogo sustava / Pashkov E.V., Kalinin M.I., Pahalyuk V.I.; zayavitel i patentnoobladatel Sevastopolskiy gosudarstvennyy universitet. – # 2016117462/14; zayavl.04.05.2016; opubl.07.05.2018. Byul. #13.
7. Pat. 2605149 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A61F 2/32. Zakrytiyy endoprotez tazobedrennogo sustava / Pashkov E.V., Pashkova I.S., Evstigneev M.P., Kalinin M.I.; zayavitel i patentnoobladatel Sevastopolskiy gosudarstvennyy universitet. – # 2014147426/14; zayavl. 25.11.2014; opubl. 20.12.2016. Byul. #35.
8. Prylutskiy Yu.I., Evstigneev M.P., Pashkova I.S., Wyrzykowski D., Woziwodzka A., Gołński G., Piosik J., Cherepanov V.V., Ritter U. Characterization of C60 fullerene complexation with antibiotic doxorubicin // Phys Chem Chem Phys. 2014. 16. 23164–23172.
9. Mchedlov–Petrossyan N.O. Fullerenes in liquid media: an unsettling intrusion into the solution chemistry // Chem. Rev. 2013.113. P.5149–5193.
10. Sun D., Tham F.S., Reed C.A., Chaker L. and Boyd P.D.W. Supramolecular fullerene–porphyrin chemistry. Fullerene complexation by metalated Jaws Porphyrin hosts // J. Am. Chem. Soc. 2002. 124. 6604–6612.
11. Mironova I.I., Pimenova L.M., Zaharova M.M. Predlozheniya po standartizatsii klinicheskogo laboratornogo analiza sinovialnoy zhidkosti // Problemy standartizatsii v zdravooohranenii. 2009. #9. S. 16–29.
12. A.A. KotYolkina, G.Yu. Struchko, L.M. Merkulova, O.Yu. Kostrova, I.S. Stomenskaya, N.Yu. Timofeeva. Harakteristika sinovialnoy zhidkosti v norme i pri nekotoryih patologicheskikh protsessah // ActaMedicaEurasica. 2017. #4. S.24–30

Pashkov Evgeny Valentinovich
Sevastopol State University,
doctor of technical sciences,
Professor of the Department
"Instrument Systems and
Technological Process
Automation"
299053, Sevastopol, ul.
University, 33
tel. +7 (8692) 550–077299053
E-mail: pashkov@sevsu.ru

Kalinin Mikhail Ivanovich
Sevastopol State University,
Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor
of the Department "Technical
Mechanics and Mechanical
Engineering"
299053, Sevastopol, ul.
University, 33
tel. +7 (8692) 435–161
E-mail: kalininseva@mail.ru

Pashkova Irina Sergeevna
Sevastopol State University, graduate student of the
department "Physics "
299053, Sevastopol, ul. University, 33
tel. +7 (8692) 435–110
E-mail: ira_leroy@mail.ru

УДК 621.01

А.М. ПОЛЯКОВ, В.Б. ЛАЗАРЕВ, Н.А. ЛОЗИНСКИЙ, П.К. СОПИН, В.И. ПАХАЛЮК

ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА НА ОСНОВЕ ПЛАТФОРМЫ СТЮАРТА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСЛОВИЙ ИСПЫТАНИЙ МОДУЛЕЙ ТРАНСФЕМОРАЛЬНЫХ ПРОТЕЗОВ

Аннотация. Испытательные стенды, конструируемые на основе механизмов параллельной структуры типа платформы Стюарта, позволяют реализовать достаточно сложные законы движения рабочего органа. Однако их основные характеристики, такие как рабочее пространство, его объем, достижимость и манипулятивность, сильно зависят от внутренней структуры (особенностей расположения шарниров ног) и значений конструктивных параметров. В связи с этим практически невозможно создать универсальный испытательный стенд на основе платформы Стюарта, который позволял бы моделировать широкий спектр движений испытываемых объектов. В то же время степень универсальности платформы всегда можно повысить, используя концепцию конструкции, в которой будет обеспечена возможность оперативного изменения конструктивных параметров в допустимых пределах. Таким образом может быть обеспечена возможность реализации на испытательном стенде множества сложных законов движения испытываемых объектов. В данной работе анализ рабочего пространства платформы Стюарта с шестью степенями свободы был выполнен в результате ее моделирования в системе Modelica, предназначенной для компонентно-ориентированного моделирования сложных систем. Это позволило оптимизировать конструкцию испытательного стенда и обеспечить условия испытаний различных изделий медицинского назначения.

Ключевые слова: испытательный стенд, платформа Стюарта, прямая задача кинематики, обратная задача кинематики, моделирование, язык программирования Modelica.

Данная работа выполнена в соответствии с программой работ по проекту «Модернизация, настройка и подготовка к натурным испытаниям опытного образца активного трансформаторного протеза с интеллектуально-синергетической системой управления» в рамках внутреннего гранта ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Merlet, J.-P. Parallel manipulators. Part I: Design, kinematics, dynamics and control/J.-P. Merlet//Research Report RR-0646, INRIA Sofia Antipolis, France, 1987. – 68 p.
2. Merlet, J.-P. Parallel manipulators. Part 2: Singular configurations and Grassmann geometry /J.-P. Merlet//Research Report RR-0791, INRIA Sofia Antipolis, France, 1988. – 69 p.
3. Merlet, J.-P. Parallel manipulators. Part 6: Determination of the workspace for a constant orientation/J.-P. Merlet//Research Report RR-1921, INRIA Sofia Antipolis, France, 1993. – 68 p.
4. Merlet, J.-P. Parallel manipulators. Part 7. Verification and planning of motion trajectories in the workspace/ J.-P. Merlet//Research Report RR-1940, INRIA Sofia Antipolis, France, 1993. – 70 p.
5. Merlet, J.-P. Parallel manipulators. Part 8. Workspaces and motion planning of planar parallel manipulator/J.-P. Merlet//Research Report RR-2291, INRIA Sofia Antipolis, France, 1994. – 68 p.
6. Merlet, J.-P. An algorithm for the Forward kinematics of general 6 d.o.f. parallel manipulators/J.-P. Merlet//Research Report RR-1331, INRIA Sofia Antipolis, France, 1990. – 70 p.
8. Merlet, J.-P. Direct kinematics and assembly modes of parallel manipulators/J.-P. Merlet//Journal Robotics Research. – 1992. – Vol. 11, No 2. – P. 151–162.
9. Merlet, J.-P. Trajectory verification in the workspace for parallel manipulators/J.-P. Merlet//Journal Robotics Research. – 1994. – Vol. 13 No 4. – P. 326–333.
10. Mattsson, S.E. Physical system modeling with Modelica/S.E. Mattsson, H. Elmqvist, M. Otter//Control Engineering Practice. – 1998. – Vol. 6. – P. 501–510.
11. Oh, M. and Pantelides, C.C. Modelling and simulation language for combined lumped and distributed parameter systems/M. Oh, C.C. Pantelides//Computers & Chemical Engineering. – 1996. – Vol. 6–7. – P. 611–633.

Поляков Александр Михайлович

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
канд. техн. наук, доцент кафедры «Техническая механика и машиноведение»
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, РФ
тел.: +7 978 703 88 26
e-mail: a.m.poljakov@sevsu.ru

Лазарев Виктор Борисович

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
ведущий инженер НОЦ «Мехатроника и робототехника».
ул. Университетская, 33, Севастополь, РФ
тел.: +7 978 751 42 20
e-mail: lvb69@yandex.ru

Лозинский Николай Анатольевич

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
научный сотрудник

ул. Университетская 33, г. Севастополь, РФ
Тел. +7 978 891 75 68
E-mail: nlozinskiy@gmail.com

Пахалюк Владимир Иванович

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой
«Техническая механика и машиноведение»,
ул. Университетская 33, г. Севастополь, РФ
Тел. 8 (0692) 435–161
E-mail: pahaluk@sevsu.ru

Сопин Павел Константинович

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
канд. техн. наук, доцент кафедры
«Автомобильный транспорт»
ул. Университетская 33, г. Севастополь, РФ
Тел. +7 978 300 952
E-mail: pavel.sopin@gmail.com

A.M. POLIAKOV, V.B. LAZAREV, N.A. LOZINSKI, V.I. PAKHALIUK, P.K. SOPIN

OPTIMIZATION OF A TEST STAND ON THE BASIS OF STEWART PLATFORM FOR THE ENSURING CONDITIONS OF TESTS OF TRANSFEMORAL PROSTHESES MODULES

Abstract. *Test stand, constructed on the basis of mechanisms of a parallel structure such as the Stewart platform, make it possible to implement quite complex laws of motion of the end-effector. However, their main characteristics, such as a working space, its volume, reachability and manipulativenness, strongly depend on the internal structure (features of the location of leg hinges) and the values of the design parameters. In this regard, it is almost impossible to create a universal test bench based on the Stewart platform, which would allow to model a wide range of movements of testing objects. At the same time, the degree of universality of the platform can always be enhanced by using the design concept, in which it will be possible to quickly change design parameters within acceptable limits. In this way, it can be possible to implement on the test stand a multitude of complex laws of motion of testing objects. In this paper, an analysis of the working space of the Stewart platform with six degrees of freedom was performed as a result of its modeling in the Modelica system, designed for component-oriented modeling of complex systems. This allowed us to optimize the design of the test stand and to ensure the conditions for testing various medical products.*

Keywords: *test stand, Stewart platform, direct kinematics problem, inverse kinematics problem, simulation, Modelica programming language.*

BIBLIOGRAPHY

1. Merlet, J.-P. Parallel manipulators. Part I: Design, kinematics, dynamics and control/J.-P. Merlet//Research Report RR-0646, INRIA Sofia Antipolis, France, 1987. – 68 p.
2. Merlet, J.-P. Parallel manipulators. Part 2: Singular configurations and Grassmann geometry /J.-P. Merlet//Research Report RR-0791, INRIA Sofia Antipolis, France, 1988. – 69 p.
3. Merlet, J.-P. Parallel manipulators. Part 6: Determination of the workspace for a constant orientation/J.-P. Merlet//Research Report RR-1921, INRIA Sofia Antipolis, France, 1993. – 68 p.
4. Merlet, J.-P. Parallel manipulators. Part 7. Verification and planning of motion trajectories in the workspace/ J.-P. Merlet//Research Report RR-1940, INRIA Sofia Antipolis, France, 1993. – 70 p.
5. Merlet, J.-P. Parallel manipulators. Part 8. Workspaces and motion planning of planar parallel manipulator/J.-P. Merlet//Research Report RR-2291, INRIA Sofia Antipolis, France, 1994. – 68 p.
6. Merlet, J.-P. An algorithm for the Forward kinematics of general 6 d.o.f. parallel manipulators/J.-P. Merlet//Research Report RR-1331, INRIA Sofia Antipolis, France, 1990. – 70 p.
8. Merlet, J.-P. Direct kinematics and assembly modes of parallel manipulators/J.-P. Merlet//Journal Robotics Research. – 1992. – Vol. 11, No 2. – P. 151–162.
9. Merlet, J.-P. Trajectory verification in the workspace for parallel manipulators/J.-P. Merlet//Journal Robotics Research. – 1994. – Vol. 13 No 4. – P. 326–333.
10. Mattsson, S.E. Physical system modeling with Modelica/S.E. Mattsson, H. Elmqvist, M. Otter//Control Engineering Practice. – 1998. – Vol. 6. – P. 501–510.
11. Oh, M. and Pantelides, C.C. Modelling and simulation language for combined lumped and distributed parameter systems/M. Oh, C.C. Pantelides//Computers & Chemical Engineering. – 1996. – Vol. 6–7. – P. 611–633.

Poliakov Aleksandr Mikhailovich

FSAEI HE “Sevastopol State University”,
Ph.D., Associate Professor, Engineering
Mechanics and Machinery Department,
Universitetskaya Str. 33, Sevastopol, 299053
Phone: +7 978 703 88 26
E-mail: a.m.poljakov@sevsu.ru

Lozinskiy Nikolay Anatolievich

FSAEI HE “Sevastopol State University”,
Research fellow

Universitetskaya Str. 33, Sevastopol, 299053
Phone: +7 978 891 75 68
E-mail: nlozinskiy@gmail.com

Sopin Pavel Konstantinovich

FSAEI HE “Sevastopol State University”,
Ph.D., Associate Professor, Automobile Transport
Department

Lazarev Victor Borisovich

FSAEI HE “Sevastopol State University”,
Leading Engineer SEC
"Mechatronics and Robotics".
Universitetskaya Str. 33, Sevastopol, 299053
Phone: +7 978 751 42 20
e-mail: lvb69@yandex.ru

Pakhaliuk Vladimir Ivanovich

FSAEI HE “Sevastopol State University”,
Ph.D., Associate Professor, Head of Engineering
Mechanics and Machinery Department,
Universitetskaya Str. 33, Sevastopol, 299053
Phone: 8 (0692) 435–161
E-mail: pahaluk@sevsu.ru

УДК 519.9

А.И. БОХОНСКИЙ, А.И. РЫЖКОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УПРУГОГО ОБЪЕКТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРЕНОСНОГО ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Аннотация. Исследовано сложное движение упругой системы с одной степенью свободы – вращение упругого консольного стержня с сосредоточенной массой на конце и относительного движения (изгибных колебаний стержня, обусловленных его быстрым вращательным движением). В качестве оптимального управления (углового ускорения) принято релейное, которое обеспечивает достижение абсолютного покоя в конце движения. Для практической реализации релейного управления уточнена частота собственных колебаний объекта и движущий момент, найденных с учетом сопротивления движению (линейно-вязкого и сухого трения), что привело к уточнению вида релейного управления как движущего момента в приводе.

Ключевые слова: упругий объект, оптимальное релейное управления, достижение абсолютного покоя, движущий момент привода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Портнягин, Л.С. Математическая теория оптимальных процессов / Л.С. Портнягин, В.Г. Болтянский, Р.В. Гамкрелидзе, Е.Ф. Мищенко. – М.: Физматиз, 1961. – 392с.
2. Солодовников, В.В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования / В.В. Солодовников, В.Н. Плотноков, А.В. Яковлев. – М.: Машиностроение, 1985. – 536с.
3. Теория автоматического управления / Под ред. А.В. Нетушила. – М.: Высшая школа, 1972. – Т.II. – 432с.
4. Абдулаев, Н.Д. Теория и методы проектирования оптимальных регуляторов / Н.Д. Абдулаев, Ю.П. Петров. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 240с.
5. Черноусько, Ф.Л. Управление колебаниями / Ф.Л. Черноусько, Л.Д. Акуленко, Б.Н. Соколов. – М.: Наука, 1980. – 387с.
6. Дорф, Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп; Пер. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832с.
7. Бохонский, А.И. Вариационное и реверсионное исчисления в механике / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская; Под общ. ред. А.И. Бохонского. – Севастополь: изд-во СевНТУ, 2012. – 212с.
8. Бохонский А.И. Актуальные задачи вариационного исчисления / А.И. Бохонский – Deutschland: Palmarium Academic Publishing, 2013. – 78с.
9. Бохонский А.И. Оптимальное управление переносным движением деформируемых объектов: теория и технические приложения / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, М.И. Мозолевский; Под общ. ред. А.И. Бохонского. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007. – 296с.
10. Бохонский А.И. Реверсионный принцип оптимальности: монография/ Под общ. ред. А.И. Бохонского – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2016. – 174с.
11. Шевченко Ф.Л. Строительная механика. ДПУ. – Донецк, 2000. – 292с.

Бохонский Александр Иванович
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Профессор, доктор технических наук, профессор
кафедры «Техническая механика и машиноведение»
299053, г. Севастополь г, ул. Университетская 33
Тел. 8 (978) 739–39–68
E-mail: bohon.alex@mail.ru

Рыжков Александр Игоревич
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Ассистент кафедры «Техническая механика и машиноведение»
299053, г. Севастополь г, ул. Университетская 33
Тел. 8 (978) 847–37–49
E-mail: ryzhkov2206@mail.ru

A.I. BOKHONSKY, A.I. RYZHKOV

ELASTIC OBJECT DESIGNING FOR THE RESEARCH OF THE OPTIMAL PORTABLE ROTATIONAL MOTION AROUND FIXED AXIS

Abstract. *Complex motion was researched for the system with one degree of freedom, where rotation of elastic cantilever rod with concentrated mass on its end takes place, taking into account elastic flexural vibrations of the rod caused by a rapid rotation. A relay control was taken as the optimal control (angular acceleration), which ensures the achievement of absolute rest at the end of the motion. For the practical implementation of a relay control the frequency of natural oscillations of the object was refined and the drive torque was found, taking into account the resistance (linear-viscous and dry friction) to motion, which led to the refinement of the type of a relay control – the drive torque.*

Keywords: *elastic object, optimal relay control, absolute rest achieving, drive torque.*

BIBLIOGRAPHY

1. Portnyagin, L.S. Mathematical theory of optimal processes / L.S. Portnyagin, V.G. Boltyansky, R.V. Gamkrelidze, E.F. Mishchenko. – M.: Fizmatiz, 1961. – 392p.
2. Solodovnikov, V.V. Fundamentals of the theory and elements of automatic control systems / V.V. Solodovnikov, V.N. Plotnikov, A.V. Yakovlev. – M.: Mashinostroenie, 1985. – 536p.
3. The theory of automatic control / Ed. A.V. Neushilo – M.: Higher School, 1972. – T.II. – 432p.
4. Abdulaev, N.D. Theory and methods of designing optimal regulators / ND. Abdulaev, Yu.P. Petrov. – L.: Energoatomizdat, 1985. – 240p.
5. Chernousko, F.L. Oscillation control / F.L. Chernousko, LD Akulenko, B.N. Sokolov. – M.: Science, 1980. – 387p.
6. Dorf, R. Modern control systems / R. Dorf, R. Bishop; Per. from English B.I. Kopylova. – M.: Laboratory of basic knowledge, 2002. – 832p.
7. Bokhonsky, A.I. Variational and reverse calculus in mechanics / A.I. Bokhonsky, N.I. Warmian; Under total ed. A.I. Bokhonsky. – Sevastopol: publishing house SevNTU, 2012. – 212p.
8. Bokhonsky A.I. Actual problems of the calculus of variations / A.I. Bokhonsky – Deutschland: Palmarium Academic Publishing, 2013. – 78p.
9. Bokhonsky A.I. Optimal control of portable movement of deformable objects: theory and technical applications / A.I. Bokhonsky, N.I. Varminskaya, M.I. Mozolevsky; Under total ed. A.I. Bokhonsky. – Sevastopol: Publishing House of SevNTU, 2007. – 296p.
10. Bokhonsky A.I. Reversal principle of optimality: monograph / Pod obsch. ed. A.I. Bokhonsky – M.: University textbook: INFRA-M, 2016. – 174p.
11. Shevchenko F.L. Structural mechanics. DPU. – Donetsk, 2000. – 292p.

Bokhonsky Alexander Ivanovich

FGAOU VO "Sevastopol State University", the city of Sevastopol
Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Technical Mechanics and Engineering Science"
299053, city of Sevastopol, st. University 33
Tel. 8 (978) 7393968
E-mail: bohon.alex@mail.ru

Ryzhkov Alexander Igorevich

FGAOU VO "Sevastopol State University", the city of Sevastopol
Assistant of the department "Technical mechanics and machine science"
299053, city of Sevastopol, st. University 33
Tel. 8 (978) 847-37-49
E-mail: ryzhkov2206@gmail.com

УДК 519.6

П.М. ШКАПОВ, В.Д. СУЛИМОВ, А.В. СУЛИМОВ

ГИБРИДНЫЕ АЛГОРИТМЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ НЕУСТОЙЧИВОЙ ПО ЯКОБИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УПРАВЛЕНИЕМ

Аннотация. *Рассматриваются задачи диагностирования свободных параметров управляемой динамической системы в аспекте теории Косамби–Картана–Черна. Описание эволюции системы во времени представлено в геометрических терминах, что позволяет интерпретировать ее как геодезическую в пространстве Финслера. Определяются основные геометрические инварианты исследуемой системы. Собственные значения второго инварианта дают оценку устойчивости системы по Якоби. Формулируется обратная задача вычислительной диагностики системы по заданным собственным значениям тензора кривизны отклонения. Решение определяется с использованием оптимизационного подхода. Скалярные*

критериальные функции предполагаются непрерывными, многомерными, липшицевыми, многоэкстремальными, не обязательно всюду дифференцируемыми. При поиске глобальных решений используются новые гибридные алгоритмы, объединяющие стохастический кратный алгоритм столкновения частиц с централизованной выборкой (сканирование пространства переменных) и детерминированные методы локального поиска. В первом алгоритме локальный поиск реализуется методом кривой, заполняющей пространство. Во втором алгоритме при локальном поиске вводятся двухпараметрические сглаживающие аппроксимации критериальной функции. Приводится численный пример диагностирования параметров эллиптического маятника с управлением.

Ключевые слова: динамическая система, управление, устойчивость по Якоби, геометрический инвариант, критериальная функция, глобальная оптимизация, гибридный алгоритм, эллиптический маятник.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Giesl, P. Review on computational methods for Lyapunov functions / P. Giesl, S. Hafstein // Discrete & Continuous Dynamical Systems. – B, – 2015. – Vol. 20, № 8. – P. 2291–2331.
2. Kvasov, D.E. Lipschitz global optimization method in control problems / D.E. Kvasov, Ya.D. Sergeev // Automation and Remote Control. – 2013. – Vol. 74, № 9. – P. 1435–1448.
3. Colombo, L. A variational–geometric approach for the optimal control of nonholonomic systems / L. Colombo // International Journal of Dynamics and Control. – 2018. – Vol. 6, № 2. – P. 652–662.
4. Bloch, A.M. Neighboring external optimal control for mechanical systems on Riemannian manifolds / A.M. Bloch, F. Gupta, I.V. Kolmanovsky // Journal of Geometric Mechanics. – 2016. – V. 8, № 3. – P. 257–272.
5. Harko, T. Kosambi–Cartan–Chern (KCC) theory for higher order dynamical systems / T. Harko, P. Pantaragphong, S.V. Sabau // International Journal of Geometric Methods in Modern Physics. – 2016. – V. 13, № 2. – P. 1656014 (24 pages).
6. Gupta, T. Jacobi stability analysis of Rikitake system / T. Gupta // International Journal of Geometric Methods in Modern Physics. – 2016. – V. 13, № 7. – P. 1650098 (20 pages).
7. Yajima, T. Jacobi stability for dynamical systems of two–dimensional second–order differential equations and application to overhead crane system / T. Yajima, K. Yamasaki // International Journal of Geometric Methods in Modern Physics. – 2016. – V. 13, № 4. – P. 1650045 (16 pages).
8. Gao, C. Robust actuator fault diagnosis scheme for satellite attitude control systems / C. Gao, Z. Zhao, G. Duan // Journal of the Franklin Institute. – 2013. – V. 350, № 9. – P. 2560–2580.
9. Сулимов, В.Д. Гибридные методы вычислительной диагностики двухфазного потока в циркуляционном контуре / В.Д. Сулимов, П.М. Шкапов // Математическое моделирование и численные методы. – 2015. – V. 47. – P. 281–294.
10. Charles, C. A short review of experimental and computational diagnostics for radiofrequency plasma micro–thrusters / C. Charles, A. Bish, R.W. Boswell, J. Derrick, A. Greig, R. Hawkins, T.S. Ho // Plasma Chemistry and Plasma Processing. – 2016. – V. 36, № 1. – P. 29–44.
11. Goncharsky, A.V. Iterative methods for solving coefficient inverse problems of wave tomography in models with attenuation / A.V. Goncharsky, S.Y. Romanov // Inverse Problems. – 2017. – V. 33, № 2. – P. 025003 (24 pages).
12. Wang, Y. Optimization and regularization for computational inverse problems and applications / Y. Wang, A.G. Yagola, C. Yang. – Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2010. – XVIII+351 p.
13. Kirsch, A. An introduction to the mathematical theory of inverse problems. 2nd edition / A. Kirsch. – New York et al.: Springer, 2011. – XIV+308 p.
14. Floudas, C.A. A review of recent advances in global optimization / C.A. Floudas, C.E. Gounaris // Journal of Global Optimization. – 2009. – V. 45, № 1. – P. 3–38.
15. Luz, E.F.P. A new multi–particle collision algorithm for optimization in a high performance environment / E.F.P. Luz, J.C. Becceneri, H.F. de Campos Velho // Journal of Computational Interdisciplinary Sciences, 2008. – V. 1. – P. 3–10.
16. Torres, R.H. Multi–particle collision algorithm with reflected points / R.H. Torres, E.F.P. da Luz, H.F. de Campos Velho // Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics. – 2015. – V. 3, № 1. – P. 010433 (6 pages).
17. Lera, D. Deterministic global optimization using space–filling curves and multiple estimates of Lipschitz and Hölder constants / D. Lera, Ya.D. Sergeev // Computations in Nonlinear Science and Numerical Simulations. – 2015. – V. 23, № 1–3. – P. 326–342.
18. Sulimov, V.D. Jacobi stability and updating parameters of dynamical systems using hybrid algorithms / V.D. Sulimov, P.M. Shkapov, A.V. Sulimov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. № 468. 012040 (11 pages).

Шкапов Павел Михайлович
Московский государственный
технический университет им. Н.Э.
Баумана, г. Москва
Доктор технических наук, зав.
кафедрой «Теоретическая механика»
им. проф. Н.Е. Жуковского
105005, г. Москва, ул. 2–я
Бауманская, 5
Тел. 8–499–263–69–69

Сулимов Валерий Дмитриевич
Московский государственный
технический университет им. Н.Э.
Баумана, г. Москва
Старший преподаватель кафедры
«Теоретическая механика» им. проф.
Н.Е. Жуковского
105005, г. Москва, ул. 2–я
Бауманская, 5
Тел. 8–499–263–64–96

Сулимов Андрей Валерьевич
Филиал Московского
государственного
университета им. М.В.
Ломоносова, г. Севастополь
Старший преподаватель
кафедры физики и геофизики
299001, г. Севастополь, ул.
Героев Севастополя, 7

P.M. SHKAPOV, V.D. SULIMOV, A.V. SULIMOV

HYBRID ALGORITHMS OF COMPUTATIONAL DIAGNOSTICS OF JACOBI UNSTABLE CONTROLLABLE DYNAMICAL SYSTEM

Abstract. Consideration is being given to problems of diagnosing of free parameters of the controllable dynamical system in the framework of the Kosambi–Cartan–Chern theory. The time evolution of a system one describes in geometric terms, by interpreting it as a geodesic in the Finsler space. Main geometrical invariants of the system under investigation are obtained. Eigenvalues of the second invariant determine the Jacobi stability of the system. The problem of computational diagnostics of the system based on given eigenvalues of the deviation curvature tensor is stated. Scalar criterion functions are supposed being continuous, Lipschitzian, multiextremal, not necessary everywhere differentiable. Global solutions are searched for by use of new hybrid algorithms that combine a stochastic Central Based Multi–Particle Collision Algorithm (for scanning a search space) and deterministic methods for local searching. The local search is realized by use of the space filling curve method in the first algorithm. Two–parametric smoothing approximations of the criterion function are introduced for local searching in the second algorithm. A numerical example on restoring parameters and computational diagnostics of the controllable elliptic pendulum is presented.

Keywords: dynamical system, control, Jacobi stability, geometrical invariant, criterion function, global optimization, hybrid algorithm, elliptic pendulum.

BIBLIOGRAPHY

1. Giesl, P. Review on computational methods for Lyapunov functions / P. Giesl, S. Hafstein // Discrete & Continuous Dynamical Systems. – B, – 2015. – Vol. 20, № 8. – P. 2291–2331.
2. Kvasov, D.E. Lipschitz global optimization method in control problems / D.E. Kvasov, Ya.D. Sergeev // Automation and Remote Control. – 2013. – Vol. 74, № 9. – P. 1435–1448.
3. Colombo, L. A variational–geometric approach for the optimal control of nonholonomic systems / L. Colombo // International Journal of Dynamics and Control. – 2018. – Vol. 6, № 2. – P. 652–662.
4. Bloch, A.M. Neighboring external optimal control for mechanical systems on Riemannian manifolds / A.M. Bloch, F. Gupta, I.V. Kolmanovsky // Journal of Geometric Mechanics. – 2016. – V. 8, № 3. – P. 257–272.
5. Harko, T. Kosambi–Cartan–Chern (KCC) theory for higher order dynamical systems / T. Harko, P. Pantaragphong, S.V. Sabau // International Journal of Geometric Methods in Modern Physics. – 2016. – V. 13, № 2. – P. 1656014 (24 pages).
6. Gupta, T. Jacobi stability analysis of Rikitake system / T. Gupta // International Journal of Geometric Methods in Modern Physics. – 2016. – V. 13, № 7. – P. 1650098 (20 pages).
7. Yajima, T. Jacobi stability for dynamical systems of two–dimensional second–order differential equations and application to overhead crane system / T. Yajima, K. Yamasaki // International Journal of Geometric Methods in Modern Physics. – 2016. – V. 13, № 4. – P. 1650045 (16 pages).
8. Gao, C. Robust actuator fault diagnosis scheme for satellite attitude control systems / C. Gao, Z. Zhao, G. Duan // Journal of the Franklin Institute. – 2013. – V. 350, № 9. – P. 2560–2580.
9. Sulimov, V.D. Gibrinnye metody vychislitelnoy diagnostiki dvukhfaznogo potoka v tsirkulyatsionnom konture / V.D. Sulimov, P.M. Shkapov // Matematicheskoe modelirovanie i chislennyye metody. – 2015. – V. 47. – P. 281–294.
10. Charles, C. A short review of experimental and computational diagnostics for radiofrequency plasma micro–thrusters / C. Charles, A. Bish, R.W. Boswell, J. Derrick, A. Greig, R. Hawkins, T.S. Ho // Plasma Chemistry and Plasma Processing. – 2016. – V. 36, № 1. – P. 29–44.
11. Goncharsky, A.V. Iterative methods for solving coefficient inverse problems of wave tomography in models with attenuation / A.V. Goncharsky, S.Y. Romanov // Inverse Problems. – 2017. – V. 33, № 2. – P. 025003 (24 pages).
12. Wang, Y. Optimization and regularization for computational inverse problems and applications / Y. Wang, A.G. Yagola, C. Yang. – Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2010. – XVIII+351 p.
13. Kirsch, A. An introduction to the mathematical theory of inverse problems. 2nd edition / A. Kirsch. – New York et al.: Springer, 2011. – XIV+308 p.
14. Floudas, C.A. A review of recent advances in global optimization / C.A. Floudas, C.E. Gounaris // Journal of Global Optimization. – 2009. – V. 45, № 1. – P. 3–38.
15. Luz, E.F.P. A new multi–particle collision algorithm for optimization in a high performance environment / E.F.P. Luz, J.C. Becceneri, H.F. de Campos Velho // Journal of Computational Interdisciplinary Sciences, 2008. – V. 1. – P. 3–10.
16. Torres, R.H. Multi–particle collision algorithm with reflected points / R.H. Torres, E.F.P. da Luz, H.F. de Campos Velho // Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics. – 2015. – V. 3, № 1. – P. 010433 (6 pages).
17. Lera, D. Deterministic global optimization using space–filling curves and multiple estimates of Lipschitz and Hölder constants / D. Lera, Ya.D. Sergeev // Computations in Nonlinear Science and Numerical Simulations. – 2015. – V. 23, № 1–3. – P. 326–342.

18. Sulimov, V.D. Jacobi stability and updating parameters of dynamical systems using hybrid algorithms / V.D. Sulimov, P.M. Shkapov, A.V. Sulimov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. № 468. 012040 (11 pages).

Shkapov Pavel Mikhailovich
Bauman Moscow State Technical
University, Moscow
Dr. Sci. (Eng.), Head of Theoretical
Mechanics Department named after
prof. N.E. Zhukovskiy
105005, Moscow, 2nd Baumanskaya
Street, 5
Ph.: 8-499-263-69-69
E-mail: spm2@bk.ru

Sulimov Valeriy Dmitrievich
Bauman Moscow State Technical
University, Moscow
Senior Teacher of Theoretical
Mechanics Department named after
prof. N.E. Zhukovskiy
105005, Moscow, 2nd Baumanskaya
Street, 5
Ph.: 8-499-263-64-96
E-mail: spm@bmstu.ru

Sulimov Andrey Valeryevich
Branch of Lomonosov Moscow
State University in Sevastopol,
Sevastopol
Senior Teacher of the
Department of Physics and
Geophysics
299001, Sevastopol, Geroev
Sevastopolya Street, 7
Ph.: +7-(8692)-40-18-27
E-mail: avs7@yandex.ru

ТЕХНОЛОГИИ И ИНСТРУМЕНТЫ

УДК 621.002.54

В.Б. БОГУЦКИЙ, Л.Б. ШРОН

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ОПТИМАЛЬНЫЙ СТЫК ПОСАДОК

Аннотация. Высокое качество узлов приборов может быть гарантировано применением технологических методов обеспечения высокоточных посадок деталей в сборочных узлах. Сопряжение неподвижной цилиндрической пары малого размера предполагает малые натяги, в то же время отраслевые нормы и технические условия регламентируют не величину натяга, а величину усилия сборки. Важную роль в процессе контактирования поверхностей при получении неподвижных сопряжений повышенной точности играет величина шероховатости поверхности. Поскольку радиус закругления микровыступов является одной из характеристик микрорельефа поверхности, обуславливающего контактную жесткость, было проведено дополнительное исследование. Разные методы обработки позволяют получать заданную шероховатость с различной характеристикой микрорельефа. Показано, что наилучшие условия контактирования обеспечивают обкатка сопрягаемых поверхностей роликами, притиркой и алмазным выглаживанием. Такой вывод подтверждается и экономическим анализом.

Ключевые слова: посадки высокой точности, финишные операции обработки, характеристики микрорельефа, пятно касания, эффективный радиус, экономический анализ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белобородов, С.М. Увеличение ресурса работы валопроводов турбоагрегатов на основе последовательного применения технологических методов адаптационной сборки: моногр. – Орел: ОГТУ, 2011. – 48 с.
2. Дальский, А.М., Кулешова, З.Г. Сборка высокоточных соединений в машиностроении. – М: Машиностроение, 1988. – 304 с.
3. Whitney D.E. Mechanical Assemblies. Their design, manufacture, and role in product development. – Oxford University Press, New York, 2004. – 573 p.
4. Назарьев, А.В., Бочкарев, П.Ю. Организация эффективного выполнения сборочных операций высокоточных изделий авиационно-космической техники//Вестник РГАТУ имени П.А. Соловьева, –2017, No.1 (40). – С. 227–235.
5. Müller, R.; Esser, M.; Janssen, C.: Umfassendes toleranzmanagement, eine notwendigkeit für wirtschaftliche montageprozesse// WT-online – Ausgabe 9–2009. – Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf (2009) – P. 632–636.
6. Dengpeng Xing, De Xu, Senior Member, IEEE, Fangfang Liu, Haipeng Li and Zhengtao Zhang. Precision assembly among multiple thin objects with various fit types// IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, – 2016, Vol. 21, No. 1. – P. 364–378.
7. Семенов, А. Н. Проблемы теоретического обеспечения сборки высокотехнологичных изделий // Инструмент и технологии. – 2004. – No. 21–22. – С. 122–124.
8. Богуцкий, В.Б., Шрон, Л.Б., Баталин, А.С. Сравнительная характеристика методов подготовки поверхностей малых цилиндрических сопряжений повышенной точности к сборке// Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. – 2009. – № 20. – С. 43–51
9. Крагельский, И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.

10. Новиков, М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов. – М.: Машиностроение, 1980. – 298 с.
11. Буловский, П.И. Основы сборки приборов. – М.: Машиностроение, 1970. – 202 с.
12. ГОСТ 3325–85. Подшипники качения. Поля допусков и технические требования к посадочным поверхностям валов и корпусов. Посадки (с Изменением N1) изд-во стандартов. Москва. 1994. – 105 с.
13. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник. Под ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.
14. Robert I. King, Robert S. Hahn. Handbook of Modern Grinding Technology. – Springer Science & Business Media, 2012. – 360 P.
15. Ioan D. Marinescu, Mike P. Hitchiner, Eckart Uhlmann, W. Brian Rowe, Ichiro Inasaki. Handbook of Machining with Grinding Wheels. – CRC Press, 2006. – 632 P.
16. Физико–математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. Т.4 «Теория абразивной и алмазно–абразивной обработки материалов». – Одесса: ОНПУ, 2002. – 802 с.
17. Попов, С.А., Малевский, Н.П., Терещенко, Л.М. Алмазно–абразивная обработка металлов и твердых сплавов. – М., Машиностроение, 1977. – 263 с.
18. Богуцкий, В.Б., Шрон, Л.Б., Шрон, Б.Л., Богуцкий, Б.В. Инженерная методика расчета шероховатости шлифованной поверхности// Ученые записки Крымского инженерно–педагогического университета. – 2012. – № 36. – С. 38–43.
19. Торбило, В.М. Алмазное выглаживание. – М.: Машиностроение, 1972. – 105 с.
20. Одинцов Л.Г. Финишная обработка деталей алмазным выглаживанием и вибровыглаживанием. – М.: Машиностроение, 1981. – 160 с.
21. Шнейдер, Ю.Г. Технология финишной обработки давлением. Справочник. – СПб.: Политехника, 1998. – 416 с.
22. Бутенко, В.И. Локальная отделочно–упрочняющая обработка поверхностей деталей машин, моногр. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2006. – 126 с.
23. Демкин Н.Б., Рыжов, Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.
24. Демкин, Н.Б., Нетягов, П.Д. Контактная жесткость при повторном нагружении стыка деталей машин //Жесткость в машиностроении: Тезисы докладов к всесоюзной научно–технической конференции. Брянск, 1971. – С. 300–305.
25. Комбалов, В.С. Влияние шероховатости твёрдых на трение и износ. – М.: Наука, 1974. – 526 с.
26. Мокрушин, Ю.А., Костицына, А.А. Проектирование и технико–экономический анализ технологических процессов: моногр. – Ижевск: Удмурт. ун–т, 2000. – 313 с.

Богуцкий Владимир Борисович

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

Шрон Леонид Борисович

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

V.B. BOGUTSKY, L.B. SHRON

SELECTION OF TECHNOLOGICAL METHODS TO ENSURE OPTIMAL JOINT LANDING

Abstract. *The high quality of the components of the devices can be guaranteed by the use of technological methods to ensure high-precision fit parts in assemblies. A linking of stationary cylindrical pairs small size implies small tensions at the same time, but the normal industry and technical terms reglamentary not the magnitude of tensions, and the amount of force of the assembly. An important role in the process of contacting surfaces when obtaining of high precision motionless mates, is played by the value of the surface roughness. Because the radius of curvature of micro ledges is one of the characteristics of the surface microrelief, which defining contact stiffness, was conducted a additional research. Different processing methods allow to obtain a given roughness with different characteristics of the microrelief. It is shown that the best contact conditions provide running of the mating surfaces by rollers, lapping and diamond smoothing. This conclusion is confirmed by economic analysis.*

Keywords: *high precision landing, finishing machining operations, characteristics of microrelief, touch spot, effective radius, economic analysis.*

BIBLIOGRAPHY

1. Beloborodov, S.M. Uvelichenie resursa raboty valoprovodov turboagregatov na osnove posledovatel'nogo primeneniya tekhnologicheskikh metodov adaptacionnoj sborki: monogr. – Orel: OGTU, 2011. – 48 s.
2. Dalskij, A.M., Kuleshova, Z.G. Sbornik vysokotochnykh soedinenij v mashinostroenii. – M.: Mashinostroenie, 1988. – 304 s.

3. Whitney D.E. Mechanical Assemblies. Their design, manufacture, and role in product development. – Oxford University Press, New York, 2004. – 573 p.
4. Nazarev, A.V., Bochkarev, P.Yu. Organizatsiya effektivnogo vypolneniya sborochnykh operatsiy vysokotochnykh izdeliy aviacionno–kosmicheskoy tekhniki//Vestnik RGATU imeni P.A. Soloveva, –2017, No.1 (40). – S. 227–235.
5. Müller, R.; Esser, M., Janssen, C.: Umfassendes toleranzmanagement, eine notwendigkeit für wirtschaftliche montageprozesse// WT–online – Ausgabe 9–2009. – Springer–VDI–Verlag, Düsseldorf (2009) – P. 632–636.
6. Dengpeng Xing, De Xu, Senior Member, IEEE, Fangfang Liu, Haipeng Li and Zhengtao Zhang. Precision assembly among multiple thin objects with various fit types// IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, – 2016, Vol. 21, No. 1. – P. 364–378.
7. Semenov, A. N. Problemy teoreticheskogo obespecheniya sborki vysokotekhnologichnykh izdeliy // Instrument i tekhnologii. – 2004. – No. 21–22.– S. 122–124.
8. Boguckij, V.B., SHron, L.B., Batalin, A.S. Sravnitel'naya harakteristika metodov podgotovki poverhnostey malykh cilindricheskikh sopryazhenij povyshennoj tochnosti k sborke// Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno–pedagogicheskogo universiteta. – 2009. – № 20. – S. 43–51.
9. Kragelskij, I.V. Trenie i iznos. – M.: Mashinostroenie, 1968. – 480 s.
10. Novikov, M.P. Osnovy tekhnologii sborki mashin i mekhanizmov. – M.: Mashinostroenie, 1980. – 298 s.
11. Bulovskij, P.I. Osnovy sborki priborov. –M.: Mashinostroenie, 1970. – 202 s.
12. GOST 3325–85. Podshipniki kacheniya. Polya dopuskov i tekhnicheskie trebovaniya k posadochnym poverhnostyam valov i korpusov. Posadki (s Izmeneniyem N1) izd–vo standartov. Moskva. 1994. – 105 s.
13. Abrazivnaya i almaznaya obrabotka materialov. Spravochnik. Pod red. A.N. Reznikova. – M.: Mashinostroenie, 1977. – 391 s.
14. Robert I. King, Robert S. Hahn. Handbook of Modern Grinding Technology. – Springer Science & Business Media, 2012. – 360 P.
15. Ioan D. Marinescu, Mike P. Hitchiner, Eckart Uhlmann, W. Brian Rowe, Ichiro Inasaki. Handbook of Machining with Grinding Wheels. – CRC Press, 2006. – 632 P.
16. Fiziko–matematicheskaya teoriya processov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroeniya / Pod red. F.V. Novikova i A.V. YAKimova. T.4 «Teoriya abrazivnoj i almazno–abrazivnoj obrabotki materialov». – Odessa: ONPU, 2002. – 802 s.
17. Popov, S.A., Malevskij, N.P., Tereshchenko, L.M. Almazno–abrazivnaya obrabotka metallov i tverdykh splavov. – M., Mashinostroenie, 1977. – 263 s.
18. Boguckij, V.B., SHron, L.B., SHron, B.L., Boguckij, B.V. Inzhenernaya metodika rascheta sherohovatosti shlifovannoy poverhnosti// Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno–pedagogicheskogo universiteta. – 2012. – № 36. – S. 38–43.
19. Torbilo, V.M. Almaznoe vyglazhivanie. –M.: Mashinostroenie, 1972. – 105 s.
20. Odincov L.G. Finishnaya obrabotka detalej almaznym vyglazhivaniem i vibrovyglazhivaniem. – M.: Mashinostroenie, 1981. – 160 s.
21. Shnejder, Yu.G. Tekhnologiya finishnoj obrabotki davleniem. Spravochnik. – SPb.: Politehnika, 1998. – 416 s.
22. Butenko, V.I. Lokal'naya otdelochno–uprochnyayushchaya obrabotka poverhnostey detalej mashin, monogr. – Taganrog: Izd–vo TRTU, 2006. – 126 s.
23. Demkin N.B., Ryzhov, E.H.V. Kachestvo poverhnosti i kontakt detalej mashin. – M.: Mashinostroenie, 1981. – 244 s.
24. Demkin, N.B., Netyagov, P.D. Kontaktnaya zhestkost pri povtornom nagruzhении styka detalej mashin //Zhestkost v mashinostroenii: Tezisy dokladov k vsesoyuznoj nauchno–tekhnicheskoy konferencii. Bryansk, 1971. – S. 300–305.
25. Kombalov, B.C. Vliyanie sherohovatosti tvyordyyh na trenie i iznos. – M.: Nauka, 1974. – 526 s.
26. Mokrushin, YU.A., Kosticyna, A.A. Proektirovanie i tekhniko–ehkonomicheskij analiz tekhnologicheskikh processov: monogr. – Izhevsk: Udmurt. un–t, 2000. – 313 s.

Bogutsky Vladimir Borisovich

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

Shron Leonid Borisovich

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

УДК 629.023

А.А. ВЕТРОГОН, В.А. КСЕНОФОНТОВА, А.В. БАБКИН, А.Н. ЯКШИН

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ДЕФОРМАЦИИ КУЗОВА НА ТОЧНОСТЬ РАСЧЕТА СКОРОСТЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПЕРЕД СТОЛКНОВЕНИЕМ

Аннотация. В работе произведена экспериментальная проверка методики определения скоростей транспортных средств перед столкновением, основанной на законе сохранения импульса и законе сохранения энергии, а также оценка степени влияния погрешности определения энергии деформации кузова на точность определения скоростей транспортных средств перед столкновением на основании результатов автотехнической экспертизы ДТП с участием двух транспортных средств. Описаны преимущества и недостатки методики, рассмотрены особенности применения.

В ходе проведенных экспериментов показано влияние погрешности существующих методик определения энергии деформации на погрешность определения скорости транспортных средств перед столкновением по сравнению с разработанной методикой.

Показано использование разработанной методики как дополнительного инструмента для оценки достоверности экспертизы ДТП с участием двух транспортных средств.

Ключевые слова: столкновение двух автомобилей, закон сохранения импульса, закон сохранения энергии, погрешность экспертизы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Огородников, В.А. Энергия. Деформация. Разрушение. (Задачи автотехнической экспертизы) / В.А. Огородников, В.Б. Киселев, И.О. Сивак. – Винница: Универсум, 2005. – 204 с.
2. Ксенофонтова, В.А. Разработка метода определения скорости транспортного средства до столкновения в результате ДТП: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.22.20) / Ксенофонтова Виктория Анатольевна; ХНАДУ. – Харьков, 2003. – 226 с.
3. Киселев, В.Б. Определение скорости транспортных средств при ударе – обзор существующих методов [Текст] / В.Б. Киселев // Безпека дорожнього руху України. – Киев, 2003. – № 3–4 (16). – С. 122–133.
4. Совершенствование методов автотехнической экспертизы при дорожно-транспортных происшествиях [Текст]: монография / В.П. Волков, В.А. Ксенофонтова, В.Н. Торлин и др. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2010. – 476 с.
5. Расследование дорожно-транспортных происшествий [Текст] / Под общ. ред. В.А. Федорова, Б.Я. Гаврилова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд. «Экзамен», 2003. – 464 с.
6. Суворов, Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза [Текст] / Ю.Б. Суворов – Москва: МАДИ, 2006. – 99 с.
7. Иларионов, В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий [Текст]: учебник для вузов / В.А. Иларионов. – М.: Транспорт, 1989. – 255 с.
8. Ветрогон, А.А. Повышение точности определения скорости при столкновении двух автомобилей / Е.В. Яковенко, А.В. Бабкин, А.А. Ветрогон // Вісник СевНТУ. – Севастополь, 2013. – № 142. – С. 206–210.
9. Ксенофонтова, В.А. Исследование процесса деформации кузова легкового автомобиля при наезде на неподвижное препятствие / В.А. Ксенофонтова, А.В. Бабкин, В.Н. Торлин // Сборник научных трудов ХГАДТУ «Автомобильный транспорт». – Харьков: РИО ХГАДТУ, 2001. – №7–8. – С. 36–38.
10. Торлин, В.Н. Конечноеэлементный анализ энергопоглощающей способности кузова автомобиля / В.Н. Торлин, А.А. Ветрогон, Е.А. Яковенко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім.В.Даля. Луганск, 2006. – №7(101). – С.115–119.

Ветрогон Александр Анатольевич
ФГАОУ «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт»
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. 54–35–70
E-mail: vetrogon@sevsu.ru

Бабкин Алексей Викторович
ФГАОУ «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Старший преподаватель
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. 54–35–70
E-mail: expert_seva@mail.ru

Ксенофонтова Виктория Анатольевна
ФГАОУ «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Автомобильный транспорт»
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. 54–35–70
E-mail: vaksenofontova.v@gmail.com

Якшин Александр Николаевич
ФГАОУ «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Старший преподаватель
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. 54–35–70
E-mail: slimtough@mail.ru

A.A. VETROGON, V.A. KSENOFONTOVA, A.V. BABKIN, A.N. YAKSHIN

INVESTIGATION OF INFLUENCE EXTENT OF DEFINITION ERROR OF DEFORMATION ENERGY OF THE BODY ON THE ACCURACY OF DETERMINATION OF VEHICLE SPEEDS BEFORE CRASH

Abstract. Experimental check of the technique for determination of vehicle speed before crash is made. The technique is based on the law of conservation of momentum and the law of conservation of energy. Assessment of influence extent of definition error of deformation energy of the body on the accuracy of determination of vehicle speeds

before crash is executed on the basis of results of autotechnical expertize of road accident with the participation of two vehicles. Advantages and disadvantages of the technique are described. Features of application of the technique are considered.

Experiments which show the influence of error of the existing techniques for definition of deformation energy on error of determination of vehicle speed before crash in comparison with the developed technique are made.

The use of the developed technique as the additional tool for assessment of reliability of road accident examination with the participation of two vehicles is shown.

Keywords: crash of two cars, the law of conservation of momentum, the law of conservation of energy, examination error.

BIBLIOGRAPHY

1. Ogorodnikov, V.A. EHnergiya. Deformaciya. Razrushenie. (Zadachi avtotekhnicheskoy ehkspertizy) / V.A. Ogorodnikov, V.B. Kiselev, I.O. Sivak. – Vinnica: Universum, 2005. – 204 s.
2. Ksenofontova, V.A. Razrabotka metoda opredeleniya skorosti transportnogo sredstva do stolknoveniya v rezultate DTP: dis. na soisk. uchen. step. kand. tekhn. nauk (05.22.20) / Ksenofontova Viktoriya Anatolevna; HNADU. – Harkov, 2003. – 226s.
3. Kiselev, V.B. Opredelenie skorosti transportnyh sredstv pri udare – obzor sushchestvuyushchih metodov [Tekst] / V.B. Kiselev // Bezpeka dorozhnogo ruhu Ukraïni. – Kiev, 2003. – № 3–4 (16). – S. 122–133.
4. Sovershenstvovanie metodov avtotekhnicheskoy ehkspertizy pri dorozhno–transportnyh proisshestviyah [Tekst]: monografiya/ V.P. Volkov, V.A. Ksenofontova, V.N. Torlin i dr. – Harkov: Izd–vo HNADU, 2010. – 476 s.
5. Rassledovanie dorozhno–transportnyh proisshestvij [Tekst] /Pod obshch. red. V.A. Fedorova, B.YA. Gavrilova. – 2–e izd., pererab. i dop. – M.: Izd. «EHkzamen», 2003. – 464 s.
6. Suvorov, YU.B. Sudebnaya dorozhno–transportnaya ehkspertiza [Tekst] / YU.B. Suvorov – Moskva: MADI, 2006. – 99 s.
7. Ilarionov, V.A. EHkspertiza dorozhno–transportnyh proisshestvij [Tekst]: uchebnik dlya vuzov / V.A. Ilarionov. – M.: Transport, 1989. – 255 s.
8. Vetrogon, A.A. Povyshenie tochnosti opredeleniya skorosti pri stolknovenii dvuh avtomobilej / E.V. YAkovenko, A.V. Babkin, A.A. Vetrogon // Visnik SevNTU. – Sevastopol, 2013. – № 142. – S. 206–210.
9. Ksenofontova, V.A. Issledovanie processa deformacii kuzova legkovogo avtomobilya pri naезде na nepodvizhnoe prepyatstvie / V.A. Ksenofontova, A.V. Babkin, V.N. Torlin // Sbornik nauchnyh trudov HGADTU «Avtomobilnyj transport». – Harkov: RIO HGADTU, 2001. – №7–8. – S. 36–38.
10. Torlin, V.N. Konechnoelementnyj analiz ehnerGOPogloshchayushchej sposobnosti kuzova avtomobilya / V.N. Torlin, A.A. Vetrogon, E.A. YAkovenko // Visnik Skhidnoukraïnskogo nacionalnogo universitetu im.V.Dalya. Lugansk, 2006. – №7(101). – S.115–119.

Vetrogon Alexander Anatolyevich

«Sevastopol state university», Sevastopol
Ph.D., associate professor, head of the department of automobile transport
299053, Sevastopol, Universitetskaya Str., 33
Ph. (8692) 54–35–70
E-mail: vetrogon@sevsu.ru

Ksenofontova Viktoriya Anatolevna

«Sevastopol state university», Sevastopol
Ph.D., associate professor at the department of automobile transport
299053, Sevastopol, Universitetskaya Str., 33
Ph. (8692) 54–35–70
E-mail: vikkstation@rambler.ru

Babkin Aleksey Viktorovich

«Sevastopol state university», Sevastopol
Senior lecturer at the department of automobile transport
299053, Sevastopol, Universitetskaya Str., 33
Ph. (8692) 54–35–70
E-mail: expert_seva@mail.ru

Yakshin Aleksandr Nikolaevich

«Sevastopol state university», Sevastopol
Senior lecturer at the department of automobile transport
299053, Sevastopol, Universitetskaya Str., 33
Ph. (8692) 54–35–70
E-mail: slimtough@mail.ru

УДК 629.3.014.2.018.2

И.М. МАКАРКИН, А.А. ДАНКОВ, Е.М. ФИЛИППОВА,
Н.А. ПЕТРИЩЕВ, А.С. САЯПИН

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ, КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ И РЕМОНТА АГРЕГАТОВ ГИДРОПРИВОДА, ТРАНСМИССИИ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. В статье рассмотрено разработанное, изготовленное и внедренное оборудование для проведения операций по техническому обслуживанию, контролю качества изготовления и ремонта узлов и агрегатов энергонасыщенной техники сельскохозяйственного и промышленного назначения.

Ключевые слова: *техническое диагностирование, стенд, коробка перемены передач, трансмиссия, контролируемый параметр, ведущий вал, входной контроль.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 года [Электронный ресурс] URL:http://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/strategy_tll_2030.pdf (Дата обращения 01.02.2019).
2. Дорохов, А.С. Совершенствование входного контроля качества сельскохозяйственной техники на дилерских предприятиях. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. 2009. № 2. С. 73–75.
3. Дорохов, А.С. Эффективность оценки качества сельскохозяйственной техники и запасных частей. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. 2015. № 1 (65). С. 31–35.
4. ТК 70.0001.071–85. К–700А, К–701 Технические требования на капитальный ремонт шасси тракторов [Текст]. – М.: ГОСНИТИ, 1986. –204 с.
5. Сенин, П.В. Анализ состояния машинно–тракторного парка и перспективы развития ремонтно–обслуживающей базы АПК Республики Мордовия/П.В.Сенин, П.А. Ионов– Саранск: Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Сборник научных трудов международной научно–практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Ф.Х. Бурумкулова. 2016.–С.21–26.
6. Филиппова, Е.М. Опытные образцы оборудования для обслуживания и входного контроля агрегатов КПП тракторов/ Е.М. Филиппова, А.А. Данков, Н.А. Петрищев, А.С. Саяпин, А.А. Тришин // Сельский механизатор. –2016, –№7, С.36–37.
7. Задачи и возможности для сохранения устойчивости роста в АПК [Электронный ресурс] URL <http://atf.rosspetsmash.ru/upload/iblock/005/serebryakov-s.a..pdf> (Дата обращения 01.02.2019).
8. Политика в области качества [Электронный ресурс] URL <http://kirovets-ptz.com/company/politika-v-oblasti-kachestva/> (Дата обращения 01.02.2019).
9. Филиппова Е.М., Николаев Е.В. Определение технического состояния цилиндропоршневой группы по расходу картерных газов // Труды ГОСНИТИ, т.108, 2011., с. 91–94.
10. Петрищев, Н.А., Саяпин, С.Н., Данков, А.А., Капусткин, А.О. Универсальное контрольно–диагностическое сервисное оборудование для технического обслуживания и ремонта агрегатов гидропривода, трансмиссии МТП//Механизация строительства. 2013. №1. С. 5–10.
11. Петрищев, Н.А. Обеспечение ресурсосбережения при эксплуатации и ремонте машинно–тракторного парка //Техника и оборудование для села. 2013. №10. С. 42–46.

Макаркин Игорь Михайлович

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва
старший научный сотрудник лаборатории 15.1
109428, г. Москва, 1–й Институтский пр–д, 5
Тел. (495) 371–64–39
E–mail: ecoserv@mail.ru

Филиппова Елена Михайловна

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва
заместитель главного инженера
109428, г. Москва, 1–й Институтский пр–д, 5
Тел. (495) 371–64–39
E–mail: ecoserv@mail.ru

Саяпин Александр Сергеевич

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва
младший научный сотрудник лаборатории 15.1
109428, г. Москва, 1–й Институтский пр–д, 5
Тел. (495) 371–64–39
E–mail: ecoserv@mail.ru

Данков Алексей Алексеевич

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва
ведущий специалист лаборатории 15.1
109428, г. Москва, 1–й Институтский пр–д, 5
Тел. (495) 371–64–39
E–mail: ecoserv@mail.ru

Петрищев Николай Алексеевич

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории 15.1
109428, г. Москва, 1–й Институтский пр–д, 5
Тел. (495) 371–64–39
E–mail: ecoserv@mail.ru

THE EXPERIENCE OF INTRODUCING EQUIPMENT FOR DIAGNOSIS, QUALITY CONTROL OF THE MANUFACTURE AND REPAIR OF HYDRAULIC UNITS, POWER TRANSMISSION EQUIPMENT

Abstract. *The article considers the developed, manufactured and implemented equipment for maintenance operations, quality control of manufacture and repair of components and assemblies of energy-saturated equipment for agricultural and industrial purposes.*

Keywords: *technical diagnostics, stand, gearbox, transmission, controlled parameter, drive shaft, input control.*

BIBLIOGRAPHY

1. Strategy for the development of agricultural machinery in Russia for the period up to 2030 [Electronic resource] URL: http://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/strategy_tll_2030.pdf (date of application 01.02.2009).
2. Dorokhov, A. S. Improvement of input quality control of agricultural machinery at dealer enterprises. Bulletin of the Federal state educational institution of higher professional education Moscow state Agroengineering University. V. P. Goryachkin. 2009. No. 2. P. 73–75.
3. Dorokhov, A. S. Efficiency of quality assessment of agricultural machinery and spare parts. Bulletin of the Federal state educational institution of higher professional education Moscow state Agroengineering University. V. P. Goryachkin. 2015. № 1 (65). P. 31–35
4. TC 70.0001.071–85. K–700A, K–701: Technical requirements for the overhaul of the chassis of the tractor. – Moscow: GOSNITI, 1986. –204 C.
5. Senin P. V. Analysis of the state of the machine and tractor fleet and prospects for the development of repair and maintenance base of agroindustrial complex of the Republic of Mordovia/P. V. Senin, P. A. Ionov – Saransk: energy-Efficient and resource-saving technologies and systems. Collection of scientific papers of the international scientific-practical conference dedicated to the memory of doctor of technical Sciences, Professor F. H. burumkulov.2016.–P. 21–26.
6. Filippova, E. M. Prototypes of the equipment for service and input control of units of check point of tractors/ E. M. Filippova, A. A. Dankov, N. Ah. Petrishchev, A. S. Sayapin, A. A. Trishin // Rural mechanic. –2016, –№7, P. 36–37.
7. Objectives and opportunities to maintain sustainable growth in agriculture [Electronic resource] URL <http://atf.rosspetsmash.ru/upload/iblock/005/serebryakov-s.a..pdf> (accessed 01.02.2009).
8. Quality Policy [Electronic resource] URL <http://kirovets-ptz.com/company/politika-v-oblasti-kachestva/>(accessed 01.02.2009).
9. Filippova E. M., Nikolaev E. V. Determination of the technical condition of the cylinder–piston group on the consumption of crankcase gases. Trudy GOSNITI, vol. 108, 2011., p. 91–94.
10. Петрищев, Н. А. Sayapin, S. N., Dankov, A. A., Kapustin, A. O. Universal control and diagnostic service equipment for maintenance and repair of hydraulic drive units, transmission MTP//Mechanization of construction. 2013. No. 1. P. 5–10.
11. Petrishchev, N. Securing resource operation and maintenance of machine and tractor fleet //Machinery and equipment for the village. 2013. No. 10. P. 42–46.

Makarkin, Igor Mikhailovich

FGBNU FNAC VIM, Moscow
senior researcher of the laboratory 15.1
109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5
Tel. (495) 371–64–39
E-mail: ecoserv@mail.ru

Filippova Elena Mikhailovna

FGBNU FNAC VIM, Moscow

deputy chief engineer
109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5
Tel. (495) 371–88–26
E-mail: ecoserv@mail.ru

Sayapin Alexander Sergeevich

FGBNU FNAC VIM, Moscow
Junior researcher of the laboratory 15.1
109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5
Tel. (495) 371–64–39
E-mail: ecoserv@mail.ru

Dankov Alexey Alekseevich

FGBNU FNAC VIM, Moscow
leading specialist of the laboratory 15.1
109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5
Tel. (495) 371–64–39
E-mail: ecoserv@mail.ru

Petrishchev Nikolai Alekseevich

FGBNU FNAC VIM, Moscow
candidate of technical Sciences, leading researcher of the laboratory 15.1
109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5
Tel. (495) 371–64–39
E-mail: ecoserv@mail.ru

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛОЖНЫХ ЦИКЛОВ МИКРОГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК НА НОМИНАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Аннотация. Предметом рассмотрения в статье являются методы усложнения циклов микрогазотурбинных установок (МГТУ) с целью дальнейшего повышения их экономичности. Выбрано направление более глубокой утилизации теплоты выхлопных газов МГТУ превратив часть их в механическую работу в турбине перерасширения. К выхлопу МГТУ присоединяется турбокомпрессорный утилизатор (ТКУ), состоящий из турбины перерасширения, приводящей дожимающий компрессор и охладителя газов между ними. Следующий способ повышения эффективности МГТУ с регенерацией теплоты с ТКУ – это перенос регенератора теплоты в турбокомпрессорный утилизатор за турбину перерасширения. Установлено, что экономичность МГТУ с ТКУ и регенерацией теплоты выше по сравнению с базовой МГТУ с регенерацией теплоты на 7...8 %, удельная мощность увеличивается в среднем в 1,25 раза.

По экономичности и в силу меньших значений степени повышения давления в компрессоре микротурбины целесообразно применять МГТУ с ТКУ и регенерацией теплоты.

Ключевые слова: микрогазотурбинная установка, микротурбина, регенерация теплоты, турбина перерасширения, турбокомпрессорный утилизатор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гамаюнов, С.Н. Перспективные технологии распределенной энергетики в агробизнесе: монография / С.Н. Гамаюнов. Тверь: ООО «Издательство «Триада», 2011. – 160 с. 1.
2. Jaatinen-Värri A, Nerg J, Uusitalo A, et al. Design of a 400 kW Gas Turbine Prototype. ASME. Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air, Volume 8: Microturbines, Turbochargers and Small Turbomachines; Steam Turbines():V008T23A007. doi:10.1115/GT2016-56444.
3. Кулагин, Я.В. Разработка и исследование микро газотурбинных установок для автономного энергоснабжения сельскохозяйственных объектов: дис. канд. техн. наук: 05.20.02 / ФГБНУ ВИЭСХ. Москва, 2015. 135 с.
4. Матвеев, В.Т. Глубокая утилизация теплоты в газотурбинных двигателях с турбиной перерасширения / В.Т. Матвеев // Промышленная теплотехника. – 1997. – Т. 19. – № 4–5. – С. 81–85.
5. Matviinko V. Variable regimes operation of cogenerative gas –turbine engines with overexpansion turbine/ V. Matviinko, V. Ocheretianiy // Proceedings of ASME Turbo Expo 2010: Power of Land, Sea and Air GT2010, June 14–18, 2010, Glasgow, UK, GT2010-22029.
6. Matviienko, V. Gas Turbine Plant with Overexpansion Turbine and Heat Regeneration in the Ship Propulsion Complex / V. Matviienko, O. Andriets, V. Ochretianjy // Proceedings of ASME Turbo Expo 2014: June 16–20, 2014, Dusseldorf, Germany.
7. Matviienko, V. Working Process Control in a Ship Gas Turbine Engine of Complex Cycle / V/ Matviienko, V. Ocheretianiy // Proceedings of ASME Turbo Expo 2016: June 13–17, 2016, Seoul, South Korea.
8. Diener OF, van der Spuy SJ, von Backström TW, Hildebrandt T. Multi-Disciplinary Optimization of a Mixed-Flow Compressor Impeller. ASME. Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air, Volume 8: Microturbines, Turbochargers and Small Turbomachines; Steam Turbines ():V008T23A021. doi:10.1115/GT2016-57008.
9. Deng, Qing-Hua & Shao, Shuai & Fu, Lei & Luan, Hai-Feng. (2018). An Integrated Design and Optimization Approach for Radial Inflow Turbines – Part I: Automated Preliminary Design. Applied Sciences. 8. 2038. 10.3390/app8112038.
10. Арбеков, А.Н. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок / А.Н. Арбеков, А.Ю. Вараксин, Э.А. Мнушин, В.Е и др. – М. Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 678 с.
11. Vick, Michael & Young, Trent & Kelly, Matthew & Tuttle, Steven & Hinnant, Katherine. (2016). A Simple Recuperated Ceramic Microturbine: Design Concept, Cycle Analysis, and Recuperator Component Prototype Tests. V008T23A030. 10.1115/GT2016-57780.

Дологлonyaн Андрей Вартазарович
ФГБНУ Институт природно-технических систем
Российской Федерации, г. Севастополь
Кандидат технических наук, старший научный
сотрудник
E-mail: dologlonyan@hotmail.com

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

USE OF THE MANAGED HYDRODYNAMIC CAVITIES FOR DESALTING OF SEA AND SALTISH WATER

Abstract. Consideration subject in article are methods of complication of microgas turbine plants (MGTP) cycles for the purpose of further increase in their profitability. The direction of deeper utilization of warmth of exhaust gases of MGTP is chosen having turned a part them into mechanical work in the overexpansion turbine. The turbocompressor utilizer (TCU) consisting of the turbine of overexpansion giving the exhaust compressor and a cooler of gases between them joins an exhaust of MGTP. With TCU the next way of increase in efficiency of MGTP with regeneration of warmth – it is transfer of a recuperator in the turbocompressor utilizer for the overexpansion turbine. It is established that profitability of MGTP with TCU and regeneration of warmth MGTP with regeneration of warmth on 7...8% is higher in comparison with basic, specific power increases on average by 1,25 times.

On profitability and owing to smaller values of extent of increase in pressure in the compressor of the microturbine it is reasonable to apply MGTP with TCU and warmth regeneration.

Keywords: microgas turbine plant, microturbine, warmth regeneration, overexpansion turbine, turbocompressor utilizer.

BIBLIOGRAPHY

1. Gamayunov S.N. Perspektivnye tekhnologii raspredelennoj energetiki v agrobiznese: monografiya / S.N. Gamayunov. Tver: OOO «Izdatelstvo «Triada», 2011. – 160 s.
2. Jaatinen-Värrä A, Nerg J, Uusitalo A, et al. Design of a 400 kW Gas Turbine Prototype. ASME. Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air, Volume 8: Microturbines, Turbochargers and Small Turbomachines; Steam Turbines():V008T23A007. doi:10.1115/GT2016-56444.
3. Kulagin YA.V. Razrabotka i issledovanie mikro gazoturbinnih ustanovok dlya avtonomnogo energo-snabzheniya selskohozyajstvennyh ob"ektov: dis. kand. tekhn. nauk: 05.20.02 / FGBNU VIESKH. Moskva, 2015. 135 s.
4. Matveenkov V.T. Glubokaya utilizatsiya teploty v gazoturbinnih dvigatelyah s turbinoj pererasshireniya / V.T. Matveenkov // Promyshlennaya teplotekhnika. – 1997. – T. 19. – № 4–5. – S. 81–85.
5. Matviienko V. Variable regimes operation of cogenerative gas –turbine engines with overexpansion turbine/ V.Matviienko, V. Ocheretianiy // Procecoligs of ASME Turbo Expo 2010: Power of Land, Sea and Air GT2010, June 14–18, 2010, Glasgow, UK, GT2010-22029.
6. Matviienko V. Gas Turbine Plant with Overexpansion Turbine and Heat Regeneration in the Ship Propulsion Complex / V. Matviienko, O. Andriets, V. Ochretianij // Proceedings of ASME Turbo Expo 2014: June 16–20, 2014, Dusseldorf, Germany.
7. Matviienko V. Working Process Control in a Ship Gas Turbine Engine of Complex Cycle / V/ Matviienko, V. Ocheretianiy // Procecoling of ASME Turbo Expo 2016: June 13–17, 2016, Seoul, South Korea.
8. Diener OF, van der Spuy SJ, von Backström TW, Hildebrandt T. Multi-Disciplinary Optimization of a Mixed-Flow Compressor Impeller. ASME. Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air, Volume 8: Microturbines, Turbochargers and Small Turbomachines; Steam Turbines ():V008T23A021. doi:10.1115/GT2016-57008.
9. Deng, Qing-Hua & Shao, Shuai & Fu, Lei & Luan, Hai-Feng. (2018). An Integrated Design and Optimization Approach for Radial Inflow Turbines – Part I: Automated Preliminary Design. Applied Sciences. 8. 2038. 10.3390/app8112038.
10. Arbekov A.N. Teoriya i proektirovanie gazoturbinnih i kombinirovannyh ustanovok / A.N. Arbekov, A.YU. Varaksin, E.A. Mnushin, V.E i dr. – M. Izdatelstvo MGTU im. N.E. Bauman, 2017. – 678 s.
11. Vick, Michael & Young, Trent & Kelly, Matthew & Tuttle, Steven & Hinnant, Katherine. (2016). A Simple Recuperated Ceramic Microturbine: Design Concept, Cycle Analysis, and Recuperator Component Prototype Tests. V008T23A030. 10.1115/GT2016-57780.

Dologlonyan Andrey Vartazarovich

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

Matviienko Valerii Timofeevich

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

УДК 621.723

А.В. МИРАНОВИЧ, Ж.А. МРОЧЕК

УПРАВЛЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТЬЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКИ

Аннотация. Предложено управление стабильностью процесса электромагнитной наплавки по критериям тепло–массопереноса и характеристикам электромагнитных потоков. Показано, что наплавка с использованием установки с электромагнитной системой на основе постоянных магнитов обеспечивает более высокую производительность и качество формируемого покрытия по сравнению с установкой с электрическими магнитами.

Ключевые слова: электромагнитная наплавка, стабильность процесса, критерий характеристики, тепло–массоперенос, электромагнитные потоки, постоянный магнит, электрический магнит.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологические основы обработки изделий в магнитном поле / П.И. Ящерицын [и др.]. – Минск: ФТИ НАНБ, 1997. – 416 с.
2. Ракомсин, А.П. Упрочнение и восстановление изделий в электромагнитном поле / А.П. Ракомсин; под общ. ред. П.А. Витязя. – Минск: Парадокс, 2000. – 201 с.
3. Обработка заготовок деталей машин: учеб. пособие / Миранович А. В. [и др.]; под ред. Мрочка Ж. А. – Минск: Выш. школа, 2014. – 172 с.
4. Хейфец, М. Л. Процессы самоорганизации при формировании поверхностей / М. Л. Хейфец, Л. М. Кожуро, Ж. А. Мрочек. – Гомель: ИММС НАНБ, 1999. – 276 с.

Миранович Алексей Валерьевич

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»
кандидат технических наук, доцент, декан факультета
технического сервиса в АПК
Адрес 220023, Республика Беларусь, г. Минск, пр.
Независимости, 99
Телефон +375 (17) 267 31 31
Факс + 375 (17) 267 31 31
E-mail Miron23@tut.by

Мрочек Жорж Адамович

Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет»
доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры технологии машиностроения
Адрес 220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр.
Независимости, 65
Телефон +375 (17) 293 95 72

A.V. MIRANOVICH, G.A. MROCHEK

STABILITY MANAGEMENT OF A TECHNOLOGICAL SYSTEM IN THE PROCESS OF ELECTROMAGNETIC SURFACING

Abstract. Stability management of the electromagnetic surfacing process according to the criteria of heat and mass transfer and characteristics of electromagnetic flows is given. It is shown that welding with the use of an installation with an electromagnetic system based on permanent magnets provides a higher performance and quality of the formed coating compared to the installation with electric magnets.

Keywords: electromagnetic surfacing, process stability, characteristic criterion, heat and mass transfer, electromagnetic flows, permanent magnet, electric magnet.

BIBLIOGRAPHY

1. Tekhnologicheskie osnovy obrabotki izdelij v magnitnom pole / P.I. YAshchericyn [i dr.]. – Minsk: FTI NANB, 1997. – 416 s.
2. Rakomsin, A.P. Uprochnenie i vosstanovlenie izdelij v elektromagnitnom pole / A.P. Rakomsin; pod obshch. red. P.A. Vityazya. – Minsk: Paradoкс, 2000. – 201 s.
3. Obrabotka zagotovok detalej mashin: ucheb. posobie / Miranovich A. V. [i dr.]; pod red. Mrocheka Zh. A. – Minsk: Vysh. shkola, 2014. – 172 s.
4. Hejfec, M. L. Processy samoorganizacii pri formirovanii poverhnostej / M. L. Hejfec, L. M. Ko–zhuro, Zh. A. Mrochek. – Gomel: IMMS NANB, 1999. – 276 s.

Miranovich Alexey Valerievich

Educational establishment "Belarusian State Agrarian Technical University"
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Dean of the Faculty of Technical Service in the AIC
Address 220023, Republic of Belarus, Minsk,
Independence Avenue, 99
Phone +375 (17) 267 31 31
Fax + 375 (17) 267 31 31
E-mail Miron23@tut.by

Mrochek Georges Adamovich

Educational establishment "Belarusian National Technical University"
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the
Department of Mechanical Engineering
Address 220013, Republic of Belarus, Minsk,
Independence Avenue, 65
Phone +375 (17) 293 95 72

УДК 621.774.2:621.981.1

Д.Н. НОВОКШОНОВ, О.В. СОКОЛОВА

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ВЫФОРМОВКИ ПРОФИЛЯ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ ВАЛКОВОЙ ФОРМОВКЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация. В работе представлены результаты исследования процесса непрерывной валковой формовки труб на станах традиционной конструкции с использованием специализированного программного комплекса конечно-элементного моделирования на базе решателя MSC Marc. Выявлена взаимосвязь между калибровкой рабочего инструмента, параметрами исходной заготовки и качеством сварного соединения. Предложена универсальная формула расчета оптимальной ширины штрипса и периметра трубной заготовки на каждом этапе ее сворачивания для производства стальных прямошовных труб малого и среднего диаметра круглого и профильного сечения. Техническим результатом является уменьшение расходного коэффициента металла за счет уменьшения ширины исходной заготовки при сохранении высокого уровня качества производимых труб и увеличение выхода годного за счет устранения дефектов формы и сварки.

Ключевые слова: непрерывная формовка, выформовка профиля, режим деформации, исходная ширина штрипса, формовочный стан, моделирование, метод конечных элементов, продольная устойчивость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт компании «data M» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://datam.de>.
2. Новокшенов, Д.Н. Оптимизация схемы формоизменения трубной заготовки путем моделирования / Д.Н. Новокшенов, О.В. Соколова, А.Е. Лепестов // Сталь. – 2016. – №7. – С. 53–56.
3. Иванов, Е.И. О механизме деформации кромок при непрерывной валковой формовке трубных заготовок / Е.И. Иванов, Б.Д. Жуковский, П.Н. Калинушкин // Производство сварных труб: тематический отраслевой сборник. – М.: Металлургия, 1974. – №3. – С. 13–20.
4. Матвеев, Ю.М. Процесс деформации в сварочном калибре трубозлектросварочных станков / Ю.М. Матвеев // Производство сварных и бесшовных труб: сб. статей. – М.: Металлургия, 1968. №8. С. 40–46.
5. Чекмарев, А.П. Теория трубного производства / А.П. Чекмарев, В.М. Друян. – М.: Металлургия, 1976. – 304 с.
6. Пат. 2677558 РФ, МПК В21С37/06. Способ производства прямошовных труб диаметром от 10 до 530 мм на непрерывных трубозлектросварочных агрегатах / Д.Н. Новокшенов; патентообладатель АО «Выксунский металлургический завод» (RU) 2018108646/02; заявл. 07.03.2018; опубл. 17.01.2019, Бюл. № 2.
7. Новокшенов, Д.Н. Обеспечение устойчивости кромок трубной заготовки при непрерывной валковой формовке / Д.Н. Новокшенов, О.В. Соколова, А.Е. Лепестов // Сталь. – 2017. – №9. – С. 43–45.
8. Новокшенов, Д.Н. Моделирование процесса формовки на АО «Выксунский металлургический завод» / Д.Н. Новокшенов, О.С. Хлыбов, А.Е. Лепестов // CADMaster. – 2015. – №2. – С. 54–57.
9. Хлыбов, О.С. Математическое моделирование как инструмент разработки металлургических технологий и контроля качества продукции / О.С. Хлыбов, Д.Н. Новокшенов, Д.В. Храмушин, В.М. Максимов // Развитие технологий производства стали, проката и труб на Выксунской производственной площадке: сб. статей. – 2016. – С. 25–72.

Новокшенов Дмитрий Николаевич

АО «Выксунский металлургический завод», г. Выкса
Главный специалист отдела по математическому моделированию Инженерно-технологического центра
607060, г. Выкса, ул. Бр. Баташевых, 45
Тел.: (950) 612–97–00
E-mail: easy2use@mail.ru

Соколова Ольга Вадимовна

ФГБОУВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана», г. Москва
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры
МТ10 «Оборудование и технологии прокатки»
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
Тел.: (916) 615–98–18
E-mail: olga55–55@bk.ru

D.N. NOVOKSHONOV, O.V. SOKOLOVA

INFLUENCE OF FORMING BILLET PROFILE QUALITY AT CONTINUOUS ROLL FORMING ON INDICATORS OF PRODUCTION EFFICIENCY

Abstract. *The article presents the results of a study of the process of continuous roll forming of pipes in traditional mills using a specialized software system of finite element modeling based on the MSC Marc solver. The analysis revealed the interrelation between the roll design, the parameters of the strip and the quality of the welded joint. A universal formula has been proposed, which allows determining the width of the strip and the perimeter of the billet with high accuracy at each stage of its forming to produce the existing and prospective product range of small and medium diameter pipes. The technical result is the reduction of the consumption coefficient of the metal due to the reduction of the initial strip width while maintaining a high level of quality of the pipes produced and an increase in the yield by eliminating defects in shape and welding.*

Keywords: *continuous forming, forming mill, flat spots, deformation mode, initial strip width, simulation, finite element method, edge buckling.*

BIBLIOGRAPHY

- 1 Official website of the company «data M» [Electronic resource]. – Access mode: <http://datam.de>.
2. Novokshonov D.N. Optimization of the scheme of forming a tube billet by modeling. Novokshonov, O.V. Sokolova, A.E. Lepesov // Steel.– 2016.– № 7.– P. 53–56.
3. Ivanov E.I. On the mechanism of edge deformation under continuous roll-forming of tube billets / E.I. Ivanov, B.D. Zhukovsky, P.N. Kalinushkin // Production of welded pipes: a thematic branch collection.– M.: Metallurgy, 1974. № 3. P. 13–20.
4. Matveev Y.M. The process of deformation in the welding caliber of pipe–electric welding mills / Y.M. Matveev // Production of welded and seamless pipes: sat. articles.– M.: Metallurgy, 1968. № 8. P. 40–46.
5. Chekmarev A.P. The theory of pipe production / A.P. Chekmarev, V.M. Druyan.– M.: Metallurgy, 1976.– 304 p.
6. Pat 2677558 of the Russian Federation, IPC B21C37/06. Method for the production of longitudinally welded pipes with a diameter of 10 to 530 mm on electrical resistance welded mills / D.N. Novokshonov; patent holder of Vyksa Metallurgical Plant JSC (RU) 2018108646/02; declare 03/07/2018; publ. 01/17/2019, Bull. № 2
7. Novokshonov D.N. Ensuring the stability of the tube billet edges under continuous roll-forming / D.N. Novokshonov, O.V. Sokolova, A.E. Lepesov // Steel.– 2017.– №9.– P. 43–45.
8. Novokshonov D.N. Modeling of the forming process at JSC «Vyksa Steel Works» / D.N. Novokshonov, O.S. Khlybov, A.E. Lepesov // CADMaster.– 2015.– №2.– P. 54–57.
9. Khlybov O.S. Mathematical modeling as a tool for the development of metallurgical technologies and product quality control / O.S. Khlybov, D.N. Novokshonov, D.V. Khrameshin, V.M. Maximov // Development of technologies for the production of steel, rolled steel and pipes at the Vyksa production site: Sat. articles. – 2016. – pp. 25–72.

Novokshonov Dmitry Nikolayevich

JSC «Vyksa Steel Works», Vyksa

Senior engineer at the department of mathematical modeling
of the Engineering and technology center

607060, Vyksa, Br. Batashev, 45

Ph.: (950) 612–97–00

E-mail: easy2use@mail.ru

Sokolova Olga Vadimovna

«Bauman MSTU», Moscow

Ph.D., associate professor at the department of MT10
«Equipment and rolling technologies»

105005, Moscow, 2–nd Baumanskaya, 5

Ph.: (916) 615–98–18

E-mail: olga55-55@bk.ru

УДК 621.793.71

Ф.И. ПАНТЕЛЕЕНКО, В.А. ОКОВИТЫЙ, В.А. АСТАШИНСКИЙ,
С.Б. СОБОЛЕВСКИЙ, В.В. ОКОВИТЫЙ

АНАЛИЗ И ВЫБОР ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТОВ НАПЫЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПОРОШКОВ КЕРАМИКИ НА ЗАЩИТНЫЕ ЭКРАНЫ

Аннотация. *Эффективность защиты объектов от повреждений при высокоэнергетическом воздействии определяется противоударной стойкостью используемых материалов. Применительно к защите космических аппаратов высокопрочные материалы должны удовлетворять основным требованиям – минимальная плотность, высокие вязкопластичные свойства, твердость. Из общих физических соображений следует, что эффективность защиты определяется уровнем поглощения кинетической энергии метеорных частиц материалом покрытия. Не касаясь всех механизмов поглощения энергии, укажем, что значительная ее часть расходуется на упругую и пластическую деформацию материала покрытий. Высокая пластичность и*

вязкость является существенным фактором увеличения стойкости. Повышение твердости резко снижает пластичность и вязкость, приводит к хрупкому разрушению. Высокой противоударной стойкостью обладают многослойные структуры с твердым керамическим слоем на основе оксидов и подслоем из вязкого металлического материала. Применение оксидной керамики в ракетно-космической технике для решения целого ряда комплексных материаловедческих проблем обусловлено более высокой температурой плавления этих материалов по сравнению с типичными конструкционными материалами для противометеорных экранов: алюминиевыми сплавами, титаном, сталью, полимерными пластиками и жаропрочными никелевыми сплавами. Вследствие применения высокотемпературных газовых струй, использование газотермического напыления наиболее эффективно для нанесения покрытий из оксидной керамики, которые имеют высокую прочность связи в кристаллической решетке и одновременно обладают высокой когезионной прочностью, твердостью, износостойкостью. Разработка и создание композиционных керамических материалов обусловлено необходимостью улучшения свойств плазменных покрытий для нанесения защиты космических аппаратов.

Ключевые слова: плазменное напыление, материалы на основе оксидной керамики, диоксид циркония, плазменные покрытия, оптимизация процесса, утилизация порошка, адгезия покрытия к подложке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Safai, S. Plasma sprayed coating – their ultramicrostructure. T. Advances in surface coating technology, 1998, 1. P 1–14.
2. Борисов, Ю.С. Применение плазменных покрытий в текстильном машиностроении. – В сб.: Защитные покрытия на металлах. Киев, Наукова думка, 1999, 13, с. 93 – 95.
3. Кулик, А.Я., Борисов Ю.С., Мнухин А.С., Никитин М.Д. Газотермическое напыление композиционных порошков. / А.Я.,Кулик, Ю.С., А.С Мнухин – М.: Машиностроение, 1995, – 200 с.
4. Ильющенко, А.Ф. Формирование газотермических покрытий: теория и практика / А.Ф. Ильющенко, В.А. Оковитый, С.П. Кундас, Б. Форманек.– Минск: Беспринт, 2002.– 480 с.
- 5.Оковитый, В.А. Разработка теплозащитных плазменных покрытий / Оковитый В.А.// Сварка и родственные технологии – Минск: Тонпик, 2005.– Вып. 7.– С. 80–82.
6. Пантелеенко, Ф.И. Разработка технологии нанесения плазменных композиционных покрытий на основе диоксида циркония для систем космических аппаратов / Пантелеенко Ф.И.,Оковитый В.А., Девойно О.Г., Асташинский В.М., Оковитый В.В.,Соболевский С.Б.// “Наука и техника”, БНТУ – Минск, 2015.–Вып.3.– С.5–9.
7. Оковитый, В.В. Выбор оксидов для стабилизации диоксида циркония при получении теплозащитных покрытий аппаратов / Оковитый В.В.// “Наука и техника”, БНТУ – Минск, 2015.–Вып.5.– С.26–32.
8. Оковитый, В.В. Технологические особенности формирования теплозащитных покрытий на основе диоксида циркония/Оковитый В.В., Девойно О.Г., Оковитый В.А., Асташинский В.М. // “Наука и техника” БНТУ, 2016.– Вып.3.– С.193–199.
9. Оковитый, В.А. Формирование и исследование многослойных композиционных оксидных плазменных покрытий на элементах экранной противометеорной защиты ” для международного научно-технического журнала/ Оковитый В.А., Пантелеенко Ф.И., Девойно О.Г., Оковитый В.В.,Асташинский В.М., Храмов П.П., Черник М.Ю., Углов В.В., Соболевский С.Б. // “Наука и техника” БНТУ, 2016. –Вып.5.– С.357–364.
10. Оковитый,В.А. Формирование и исследование плазменных двухслойных композиционных покрытий(вязкий металлический слой NiCr и твердый ZrO₂) / Оковитый В.А., Пантелеенко Ф.И., Оковитый В.В.,Асташинский В.М., Храмов П.П., Черник М.Ю., Углов В.В., С.Б. Соболевский С.Б.// “Наука и техника”, БНТУ – Минск. – 2018.Вып.1.– С.21–28.
11. Оковитый, В.А. Технологические особенности формирования плазменных порошковых покрытий из керамики с неравновесной структурой/ Оковитый, Пантелеенко Ф.И.,Асташинский В.М., Оковитый В.В.// “Наука и техника”, БНТУ – Минск. – 2018. Вып.3.– С.183–189.
12. Оковитый,В.А. Формирование и исследование плазменных порошковых покрытий из оксидной керамики, модифицированной высокоэнергетическими воздействиями“Наука и техника” / Оковитый В.А., Пантелеенко Ф.И., Оковитый В.В.,Асташинский В.М., Углов В.В.// “Наука и техника”, БНТУ – Минск. – 2018. Вып.5.– С.377–389.

Пантелеенко Федор Иванович
Белорусский Национальный
Технический Университет;
«заведующий кафедрой», ПМС и
ТМ БНТУ, член.–корр. НАН Б,
д.т.н.;
Республика Беларусь, г. Минск,
пр. Независимости, 65, 220017;
+375–17–293–95–99;
Panteleyenokofi@tut.by;

Оковитый Вячеслав Александрович
Институт тепло– и массообмена имени
А.В. Лыкова НАН Беларуси;
Республика Беларусь, г. Минск,
П.Бровки, 15, 220072;
заведующий НИИЛСРТИНК БНТУ,
к.т.н.;
+375–17–293–95–99;
vasil_ok@inbox.ru;

**Асташинский Валентин
Миронович**
Государственное учреждение
«Белорусский институт
системного анализа и
информационного обеспечения
научно–технической сферы»
Заместитель директора по
научной и инновационной
работе, членн.–корр. НАН Б,
д.т.н., проф.;
Республика Беларусь, г. Минск,

Соболевский Сергей Борисович

Заведующий отдела научно-методического обеспечения инновационной деятельности, к.т.н., доцент
+375 17 226-91-66;
sobsergey@tut.by;

Оковитый Василий Вячеславович

Научный сотрудник отдела научно-методического обеспечения инновационной деятельности.

F.I. PANTELEENKO, V.A. OKOVITY, V.A. ASTASHINSKY,
S.B. SOBOLEWSKI, V.V. OKOVITY

THE ANALYSIS AND SELECTION OF POSSIBLE OPTIONS FOR THE DEPOSITION OF COMPOSITE MULTILAYER COATINGS FROM POWDERS OF CRAMICS FOR PROTECTIVE SCREENS

Abstract. *The effectiveness of protection of objects from damage under high-energy impact is determined by the shock resistance of the materials used. With regard to the protection of spacecraft, high – strength materials must meet the basic requirements—minimum density, high viscoplastic properties, hardness. It follows from General physical considerations that the protection efficiency is determined by the level of absorption of kinetic energy of meteor particles by the coating material. Without touching all the mechanisms of energy absorption, we indicate that a significant part of it is spent on elastic and plastic deformation of the coating material. High ductility and toughness is a significant factor in increasing resistance. Increased hardness dramatically reduces the ductility and toughness, leads to brittle destruction. Multi-layer structures with a solid ceramic layer based on oxides and a sublayer of viscous metal material have high shock resistance. The use of oxide ceramics in missile and space technology to solve a range of complex material science problems was due to the higher melting point of these materials compared to typical construction materials for protivooterne screens: aluminum alloys, titanium, steel, polymer plastics and heat-resistant Nickel alloys. Due to the use of high-temperature gas jets, the use of thermal spraying is most effective for coating of oxide ceramics, which have a high bond strength in the crystal lattice and at the same time have a high cohesive strength, hardness, wear resistance. The development and creation of composite ceramic materials is due to the need to improve the properties of plasma coatings for the application of spacecraft protection.*

Keywords: *plasma spraying, materials based on oxide ceramics, zirconium dioxide, plasma coatings, process optimization, powder utilization, coating adhesion to the substrate.*

BIBLIOGRAPHY

1. «Safai», S. Plasma sprayed coating—their ultramicrostructure. T. Advances in surface coating technology, 1998, 1. P 1–14.
2. Borisov, Y. S. Application of plasma coatings in textile engineering. – In sat.: Protective coatings on metals. Kiev, Naukova Dumka, 1999, 13, p. 93–95.
3. Kulik, A. Ya., Borisov Yu. s., Mnukhin A. S., Nikitin M. D. Thermal spraying of composite powders. / A. Ya., Kulik, Yu. s., Mnukhin, A. s – M.: Mashinostroenie, 1995, – 200 p
4. Ilyushchenko, A. F. Formation of thermal spray coatings: theory and practice / A. F. Ilyushchenko, V. A. okovity, S. P. Kundas, B. Formanek.– Minsk: Besprent, 2002.– 480 p.
5. Okovity, V. A. Development of thermal barrier plasma coatings / okovity V. A.// welding and related technologies – Minsk: Tonpik, 2005.– Vol. 7.– Pp. 80–82.
6. Panteleenko, F. I. development of technology for the application of plasma composite coatings based on zirconium dioxide for spacecraft systems / Panteleenko F. I., okovity V. A., Devoino O. G., Astashynski V. M., okovity V. V., Sobolevsky, S. B.// “Science and technology”, national technical University – Minsk, 2015.–Vol.3.– P. 5–9.
7. Okovity, V. V. the Choice of oxides for the stabilization of Zirconia in obtaining thermal barrier coatings devices / okovity V. V.// “Science and technology”, national technical University – Minsk, 2015.–Vol.5.– P. 26–32.
8. Okovity, V. V. Technological peculiarities of formation of thermal barrier coatings based on Zirconia /okovity V. V., Devoino O. G., okovity V. A., V. M. Astashinskii // “Science and technics” of BNTU, 2016.– Vol.3.– P. 193–199.
9. Okovity, V. A. Formation and investigation of multilayer composite oxide plasma coating on the screen elements protivokariosnoe protection ” for international scientific–technical journal/ okovity V. A., Panteleenko F. I., O. G. Devoino, okovity V. V., Astashynski V. M., Khramtsov p. P., Chernik M. Yu., Corners V. V., Sobolevsky, S. B. // “Science and technics” of BNTU, 2016. –Vol.5.– P. 357–364.

10. Okovity, V. A. Formation and investigation of plasma double-layer composite coatings (ductile metal layer NiCr and solid ZrO₂) / okovity V. A., Panteleenko F. I., okovity V. V., Astashynski V. M., Khramtsov P. P., Chernik M. Yu., Corners V. V., Sobolevsky S. B. S. B. // "Science and technology", national technical University – Minsk. – 2018. Vol. 1. Pp. 21 – 28.

11. Okovity, V. A. Technological features of formation of the plasma powder coating of ceramics with a nonequilibrium structure / okovity V. A., Panteleenko F. I., Astashinskii V. M., okovity V. V. // "Science and technology", national technical University – Minsk. – 2018. Vol. 3. – P. 183–189.

12. Okovity, V. A. Formation and investigation of a plasma powder coating of oxide ceramics, modified high-energy influences "Science and technology" / okovity V. A., Panteleenko F. I., okovity V. V., V. M. Astashinskii, Corners V. V. // "Science and technology", national technical University – Minsk. – 2018. Vol. 5. – P. 377–389.

Panteleenko Fedor Ivanovich
Belarusian National Technical University;
Head of the Department " PMS and TM BNTU, member.–Corr. NAN B, doctor of technical Sciences, prof.;
Republic of Belarus, Minsk, 65, Independence Avenue, 220013;
+375 17 293–95–99;
Panteleyenkovfi@tut.by;

Okovity Vyacheslav Aleksandrovich
Institute of Heat and Mass Transfer named after A. V. Lykov NAS of Belarus;
Head of the NIILWRTNDT BNTU, Ph.D;
Republic of Belarus, Minsk, P. Brovka, 15, 220072;
+375 17 293–95–99;
vasil_ok@inbox.ru;

Astashinsky Valentin Mironovich
State institution "Belarusian Institute of system analysis and information support of scientific and technical sphere";
Deputy Director on scientific and innovative work of a member.–Corr. NAN B, Ph. D., Professor;
Republic of Belarus, Minsk, Pobediteley Ave., 7, 220004;
+375 17 284–24–91;
ast@hmti.ac.by.

Sobolevsky Sergey Borisovich
Head of the Department of scientific and methodological support of innovation, Ph. D., associate Professor;
+375 17 226–91–66;
sobsergey@ tut.by;

Okovity Vasily Vyacheslavovich
The researcher of Department of scientific and methodical providing innovative activity.

УДК 621.777.24

И.Е. СЕМЕНОВ, А.В. ИВАНОВ

ВЫДАВЛИВАНИЕ КОРОБЧАТЫХ ДЕТАЛЕЙ С ЛОКАЛЬНЫМИ АКТИВНЫМИ СИЛАМИ ТРЕНИЯ

Аннотация. В работе приводится анализ аналитических и численных методов расчета сил деформирования при обратном выдавливании коробчатых деталей, в том числе в условиях действия активных сил трения. На примере расчета коробчатых деталей из алюминия АД–1 показано, что аналитические зависимости и численные методы анализа, основанные на методе конечных элементов, дают достаточно точные результаты, позволяющие рекомендовать их для расчета величин сил, действующих на рабочий инструмент при обратном выдавливании. Помимо этого, численное исследование дает возможность предсказывать формоизменение заготовки на любой стадии процесса обратного выдавливания, что позволяет делать выводы о качестве получаемых деталей и более полно учитывать характерные особенности деформирования при разработке технологического процесса.

Ключевые слова: обратное выдавливание, метод конечных элементов, сила трения, сила деформирования, формоизменение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов, И.Е. Энергосиловые параметры и стойкость пуансонов при выдавливании коробчатых деталей: Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. – 1997. – №3. – С.45–56.
2. Valberg, H. Applied metal forming: Including FEM analysis. Trondheim, Norge: Cambridge University Press, 2010.
3. Sahu, R. K., Das R., Dash B., Routara B.C. Finite Element Analysis and Experimental Study on Forward, Backward and Forward-backward Multi-hole Extrusion Process // Materials Today: Proceedings. – 2018. – Vol. 5, № 2. – pp. 5229–5234.
4. Гун, Г.Я. Теоретические основы обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1980. – 456 с.
5. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 480 с.
6. Иванов, А.В., Восканьянц А.А. Конечно-элементное моделирование технологических задач пластичности на основе эйлерового описания движения сплошной среды в программном комплексе

ANSYS/LS-DYNA // Сборник трудов Шестой конференции пользователей программного обеспечения CAD-FEM GmbH (Москва, 20–21 апреля 2006) / Под. ред. А.С.Шадского. – М.: Полигон-пресс, 2006. – С. 231–248.

7. Семенов, И.Е., Иванов А.В. Математическое моделирование процесса обратного выдавливания коробчатых деталей // Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении: Тематич. сб. научн. тр. – Краматорск: ДГМА, 2007. – С. 151–156.

8. Valberg, H., Uyyuru R.K. Physical and numerical analysis of the metal flow over the punch head in backward cup extrusion of aluminium // Journal of Materials Processing Technology. – 2006. – Vol. 172, № 2. – pp. 312–318.

9. Zhao, S. D., Murakami R.I., Ding R., Guo J. H. Modeling the hot deformation behavior of Al alloy 3003 // Journal of Alloys and Compounds. – 2013. – Vol. 566. – pp. 62–67.

10. Mohammadi H., Izadi M., Ketabchi M. Finite-Element Simulation and Experimental Investigation of Isothermal Backward Extrusion of 7075 Al Alloy // Arabian Journal for Science and Engineering. – 2012. – Vol. 37, № 8. – pp. 2287–2296.

11. LS-DYNA Keyword user's manual. Version 971, 2006.

12. Семёнов И.Е., Иванов А.В. Сравнение аналитических и численных методов расчета технологических параметров процесса, обратного выдавливания коробчатых деталей // Заготовительные производства в машиностроении. – 2007. – № 12. – С. 29–35.

Семенов Иван Евгеньевич

«ФГБОУВО МГТУ им. Н.Э. Баумана»

Д. т. н., профессор кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Тел. +7 (499) 263–60–32

E-mail: semenov@bmstu.ru

Иванов Андрей Владимирович

«ФГБОУВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана»

К.т.н., доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Тел. +7 (499) 263–60–32

E-mail: avivanov@bmstu.ru

I.E. SEMENOV, A.V. IVANOV

BACKWARD EXTRUSION OF BOX-SHAPED PARTS BY USE OF ACTIVE FRICTION FORCES

Abstract. *The paper provides an analysis of analytical and numerical methods for calculating the deformation forces during the backward extrusion of box-shaped parts, including the active friction forces action. Using the example of forces calculation for backward extrusion of aluminum (AD1 on Russian) box-shaped parts it shown that analytical dependences and numerical methods of analysis based on the finite element method give exact outcomes. This makes it possible to recommend these analytical and numerical methods for the calculation of forces acting on the working tool during the backward extrusion. In addition, the numerical analysis makes it possible to predict the form change of the workpiece at any stage of the backward extrusion process. Based on this, it is possible to draw a conclusion about the quality obtained the box-shaped parts and more fully take into account the characteristic features of the form change during the development of the technological process.*

Keywords: *backward extrusion, finite element method, friction force, deformation force, form change.*

BIBLIOGRAPHY

1. Semenov I.Ye. Energosilovyye parametry i stoykost puansonov pri vydavlivanii korobchatykh detaley: Vestnik MGTU im. N.E.Baumana. – 1997 – №3; s.45–56.

2. Valberg H. Applied metal forming: Including FEM analysis. Trondheim, Norge: Cambridge University Press, 2010.

3. Sahu R. K., Das R., Dash B., Routara B.C. Finite Element Analysis and Experimental Study on Forward, Backward and Forward-backward Multi-hole Extrusion Process // Materials Today: Proceedings. – 2018. – Vol. 5, № 2. – pp. 5229–5234.

4. Gun G.YA. Teoreticheskiye osnovy obrabotki metallov davleniyem. – М.: Metallurgiya, 1980.– 456 s.

5. Segerlind L. Primeneniye metoda konechnykh elementov: Per. s angl. – М.: Mir, 1979. – 480 s.

6. Ivanov A.V., Voskanyants A.A. Konechno-elementnoye modelirovaniye tekhnologicheskikh zadach plastichnosti na osnove eylerovogo opisaniya dvizheniya sploshnoy sredy v programmnom komplekse ANSYS/LS-DYNA // Sbornik trudov Shestoy konferentsii polzovateley programmnoy obespecheniya CAD-FEM GmbH (Moskva, 20–21 aprelya 2006) / Pod. red. A.S.Shadского. – М.: Poligon-press, 2006. – S. 231–248.

7. Semenov I.Ye., Ivanov A.V. Matematicheskoye modelirovaniye protsesssa obratnogo vydavlivaniya korobchatykh detaley // Sovershennstvovaniye protsessov i oborudovaniya obrabotki davleniyem v metallurgii i mashinostroyenii: Tematich. sb. nauchn. tr. – Kramatorsk: DGMA, 2007. – S. 151–156.

8. Valberg H., Uyyuru R.K. Physical and numerical analysis of the metal flow over the punch head in backward cup extrusion of aluminium // Journal of Materials Processing Technology. – 2006. – Vol. 172, № 2. – pp. 312–318.

9. Zhao S. D., Murakami R.I., Ding R., Guo J. H. Modeling the hot deformation behavior of Al alloy 3003 // Journal of Alloys and Compounds. – 2013. – Vol. 566. – pp. 62–67.

10. Mohammadi H., Izadi M., Ketabchi M. Finite-Element Simulation and Experimental Investigation of Isothermal Backward Extrusion of 7075 Al Alloy // Arabian Journal for Science and Engineering. – 2012. – Vol. 37, № 8. – pp. 2287–2296.

11. LS-DYNA Keyword user's manual. Version 971, 2006.

12. Semonov I.Ye., Ivanov A.V. Sravneniye analiticheskikh i chislennykh metodov rascheta tekhnologicheskikh parametrov protsessa obratnogo vydavlivaniya korobchatykh detaley // Zagotovitelnyye proizvodstva v mashinostroyenii. – 2007. – № 12. – S. 29–35.

Semenov Ivan Evgenievich

« Bauman MSTU », Moscow.

Doctor of Tech. Sciences, Professor of the department « Equipment and rolling technologies »

105005, Moscow, 2–nd Baumanskaya ul. 5, bld. 1

Ph. +7 (499) 263–60–32

E–mail: semenov@bmstu.ru

Ivanov Andrey Vladimirovich

« Bauman MSTU », Moscow.

Ph.D., associate professor of the department « Equipment and rolling technologies »

105005, Moscow, 2–nd Baumanskaya ul. 5, bld. 1

Ph. +7 (499) 263–60–32

E–mail: avivanov@bmstu.ru

УДК 621.91

А.В. АНЦЕВ

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ МНОГОЛЕЗВИЙНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ЧЕРНОВОЙ ОБРАБОТКЕ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. Для назначения режимов работы современного металлорежущего оборудования, в том числе, режимов резания, предложены методики, которые при назначении режимов резания не учитывают, что фактическая стойкость режущего инструмента есть случайная величина. Ее значение зависит от физических свойств режущего инструмента и заготовки, вибрации, геометрических погрешностей станка, смазочно-охлаждающей жидкости и т.д. В расчетах чаще всего оперируют средним значением этой случайной величины. Для описания периода стойкости режущего инструмента как случайной величины используются различные распределения. Для учета как постепенного отказа режущего инструмента, так и внезапного отказа, предложена обобщенная стохастическая модель отказов одно- и многолезвийного инструмента. Для расчета надежности многолезвийного инструмента в случае если отказ режущего инструмента наступает после отказа i -го лезвия, что характерно для черновой обработки, предложено применять статистическое моделирование. В работе предложен алгоритм статистического моделирования периода стойкости многолезвийного инструмента. Полученные результаты проиллюстрированы на числовом примере. В рассматриваемом примере средний период стойкости всего многолезвийного инструмента до отказа первого лезвия примерно в два раза меньше чем средний период стойкости одного лезвия и становится равен ему после отказа примерно 60 % лезвий режущего инструмента. Коэффициент вариации периода стойкости практически не зависит от числа лезвий режущего инструмента. С ростом числа отказавших лезвий коэффициент вариации резко снижается, но после 7 отказавших лезвий уже практически не меняется.

Ключевые слова: многолезвийный режущий инструмент, надежность, период стойкости, коэффициент вариации, вариабельность, стохастическая модель, статистическое моделирование

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабичева, А.В. Исследование влияния подачи и глубины резания на качество обработанной поверхности / А.В. Бабичева, Е.М. Харьков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2010. – № 2–2 (280). – С. 22–26.

2. Нгуен, В.К. Методология оптимизации режимов резания / В.К. Нгуен, А.С. Ямников // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – № 1 (291). – С. 56–63.

3. Реченко Д.С. Виды износа твердосплавных пластин при лезвийной обработке и методы борьбы с ними / Д.С. Реченко [и др.] // Омский научный вестник. – 2015. – 3 (143). – С. 83–87.

4. Кушнер В.С. Повышение режущих свойств инструмента при обработке резанием жаропрочных сплавов / В.С. Кушнер, А.Н. Жавнеров, А.В. Удодова // Омский научный вестник. – 2011. – 2 (100). – С. 20–23.

5. Макаренко К.В. Исследование стойкости многогранных неперетачиваемых пластин при токарной обработке термически упрочненной стали 40Х2Н2МА / К.В. Макаренко, А.Н. Толстяков // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2018. – № 6 (67). – С. 11–15.

6. Верещака А.А. Повышение эксплуатационных характеристик инструмента из безвольфрамовых твердых сплавов с помощью наноструктурированных многослойно-композиционных покрытий / А.А. Верещака, О. Хожаев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. – № 3 (43). – С. 20–25.

7. Муратов К.Р. Влияние жесткой и фрикционной кинематической связи в контакте инструмент–деталь на равномерность износа инструмента / К.Р. Муратов // СТИН. – 2015. – 9. – С. 23–26.
8. Уткин Е.Ф. Оценка влияния деформационных процессов в контактируемых зонах обрабатываемого и инструментального материалов на износ режущего инструмента / Е.Ф. Уткин // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2007. – 3 (29). – Т. 1. – С. 132–134.
9. Козлов В.И. Анализ влияния относительных колебаний на износ лезвийного инструмента / В.И. Козлов // СТИН. – 2008. – 1. – С. 9–14.
10. Ивахненко А.Г. Конструкторское и технологическое обеспечение точности обработки на станках с гибридной компоновкой / А.Г. Ивахненко, В.В. Куц [и др.] // Известия Юго–Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2014. – 4. – С. 15–22.
11. Аникеева, О.В. Прогнозирование параметрической надежности прецизионного технологического оборудования / О.В. Аникеева, А.Г. Ивахненко, В.В. Куц // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2013. – 2 (298). – С. 159–164.
12. Ражковский А.А. Влияние СОЖ на момент трения при обработке резанием стали У8 / А.А. Ражковский [и др.] // Омский научный вестник. – 2013. – 2 (120). – С. 111–114.
13. Анцев А.В. Особенности оптимизации режимов резания с учетом фактора случайности / А.В. Анцев, Н.И. Пасько // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2018. – № 9 (70). – С. 15–20.
14. Мартинов Г.М., Григорьев А.С. Диагностирование режущих инструментов и прогнозирование их остаточной стойкости на станках с ЧПУ в процессе обработки // СТИН. 2012. 12. С. 23–27.
15. Пасько, Н.И. Расчет периода планово–предупредительной замены инструментов / Н.И. Пасько // Станки и инструмент. – 1976. – №1. – С. 24–26.
16. Ивченко, Т.Г. Прогнозирование параметров закона распределения стойкости режущего инструмента как случайной величины / Т.Г. Ивченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонНТУ. – 2016. – № 3(54). – С. 49–54.
17. Кацев, П.Г. Оценка надежности инструмента на основе закона распределения стойкости / П.Г. Кацев // Надежность режущего инструмента: сб. ст. – К.: Техника. – 1972. – С. 33–45.
18. Эстерзон, М.А. Технологические критерии смены инструмента на токарных станках с ЧПУ / М.А. Эстерзон, В.Д. Уманская // Совершенствование металлорежущего оборудования и оснастки для комплексного оснащения серийного и мелкосерийного производства. – М.: Машиностроение. – 1976. – С. 56–66.
19. Vagnorius, Z. Determining optimal replacement time for metal cutting tools / Z. Vagnorius, M. Rausand, K. Sørby // European Journal of Operational Research. – 2010. – № 206. – Pp. 407–416.
20. Анцев, А.В. Управление надежностью режущего инструмента с учетом фактора случайности процесса резания / А.В. Анцев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – № 4–2 (330). – С. 90–102.
21. The generalized mathematical model of the failure of the cutting tool / Pasko N.I. [et al.] // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – № 177. – 012052. DOI:10.1088/1757–899X/177/1/012052.
22. Пасько, Н.И. Статистические методы в управлении качеством // Н.И. Пасько, А.В. Анцев. – Тула: Изд–во ТулГУ, 2014. – 173 с.
23. Щербань, Л.Ф. Исследование прочности режущей части торцово–цилиндрических твердосплавных фрез / Л.Ф. Щербань // Надежность режущего инструмента (сборник статей). – К.: Изд–во «Техніка», 1972. – С. 206–209.

Анцев Александр Витальевич

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет

Кандидат технических наук, доцент, доцент

кафедры «Технология машиностроения»

300012, г. Тула, пр. Ленина, 92

Тел. (4872) 25–46–48

E–mail: a.antsev@yandex.ru

A.V. ANTSEV

MULTI-POINT CUTTING TOOL RELIABILITY CALCULATION AT ROUGH MACHINING BASED ON STATISTICAL MODELING

Abstract. For the assessment of the of modern metal–cutting equipment modes of operation, including cutting modes, various methods have been proposed. However, those methods do not take into account that the actual tool life of the cutting tool is a random variable. Its value depends on the physical properties of the cutting tool and the workpiece, vibration, geometrical errors of the machine, coolant, etc. In calculations, the average value of this random variable is most often used. To describe the tool life of the cutting tool as a random variable, various distributions laws

are used. To account for both the gradual failure of the cutting tool and the sudden failure, a generalized stochastic model of single- and multi-point cutting tool failures was proposed. To calculate the reliability of a multi-point cutting tool, if a cutting tool fails after the failure of the i -th blade, which is typical for roughing, it is proposed to use statistical modeling. The paper proposes an algorithm for statistical modeling of the tool life of a multi-point cutting tool. The results are illustrated by a numerical example. In this example, the average lifetime of the entire multi-point cutting tool to the failure of the first blade is about two times less than the average lifetime of one blade and becomes equal to it after failure of about 60% of the blades of the cutting tool. The coefficient of variation of the tool life is practically independent of the number of blades of the cutting tool. With an increase in the number of failed blades, the coefficient of variation drops sharply, but after seven failed blades, it almost does not change. The use of proposed technique will allow calculating the tool life of the cutting tool to the failure of the required number of blades, which will allow use the cutting tool in the case of roughing more efficiently.

Keywords: multi-point cutting tool, reliability, tool life, coefficient of variation, variability, stochastic model, statistical modeling.

BIBLIOGRAPHY

1. Babicheva, A.V. Issledovaniye vliyaniya podachi i glubiny rezaniya na kachestvo obrabotannoy poverkhnosti / A.V. Babicheva, Ye.M. Kharkova // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2010. – № 2–2 (280). – S. 22–26.
2. Nguyen, V.K. Metodologiya optimizatsii rezhimov rezaniya / V.K. Nguyen, A.S. Yamnikov // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2012. – № 1 (291). – S. 56–63.
3. Rechenko D.S. Vidy iznosa tverdospavnykh plastin pri lezviynoy obrabotke i metody borby s nimi / D.S. Rechenko [i dr.] // Omskiy nauchnyy vestnik. – 2015. – 3 (143). – S. 83–87.
4. Kushner V.S. Povysheniye rezhushchikh svoystv instrumenta pri obrabotke rezaniyem zharoprochnykh splavov / V.S. Kushner, A.N. Zhavnerov, A.V. Udodova // Omskiy nauchnyy vestnik. – 2011. – 2 (100). – S. 20–23.
5. Makarenko K.V. Issledovaniye stoykosti mnogogrannykh neperetachivayemykh plastin pri tokarnoy obrabotke termicheski uprochnennoy stali 40KH2N2MA / K.V. Makarenko, A.N. Tolstyakov // Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2018. – № 6 (67). – S. 11–15.
6. Vereshchaka A.A. Povysheniye ekspluatatsionnykh kharakteristik instrumenta iz bezvolframovykh tverdyykh splavov s pomoshchyu nanostrukturirovannykh mnogoslono-kompozitsionnykh pokrytiy / A.A. Vereshchaka, O. Khozhayev // Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2014. – № 3 (43). – S. 20–25.
7. Muratov K.R. Vliyaniye zhestkoy i friktsionnoy kinematicheskoy svyazi v kontakte instrument–detal na ravnomernost iznosa instrumenta / K.R. Muratov // STIN. – 2015. – 9. – S. 23–26.
8. Utkin Ye.F. Otsenka vliyaniya deformatsionnykh protsessov v kontaktiruyemykh zonakh obrabatyvayemogo i instrumentalnogo materialov na iznos rezhushchego instrumenta / Ye.F. Utkin // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2007. – 3 (29). – T. 1. – S. 132–134.
9. Kozlov V.I. Analiz vliyaniya otnositelnykh kolebaniy na iznos lezviynogo instrumenta / V.I. Kozlov // STIN. – 2008. – 1. – S. 9–14.
10. Ivakhnenko A.G. Konstruktorskiye i tekhnologicheskoye obespecheniye tochnosti obrabotki na stankakh s gibridnoy komponovkoy / A.G. Ivakhnenko, V.V. Kuts [i dr.] // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii. – 2014. – 4. – S. 15–22.
11. Anikeyeva, O.V. Prognozirovaniye parametricheskoy nadezhnosti pretsizionnogo tekhnologicheskogo oborudovaniya / O.V. Anikeyeva, A.G. Ivakhnenko, V.V. Kuts // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2013. – 2 (298). – S. 159–164.
12. Razhkovskiy A.A. Vliyaniye SOZH na moment treniya pri obrabotke rezaniyem stali U8 / A.A. Razhkovskiy [i dr.] // Omskiy nauchnyy vestnik. – 2013. – 2 (120). – S. 111–114.
13. Antsev A.V. Osobennosti optimizatsii rezhimov rezaniya s uchetom faktora sluchaynosti / A.V. Antsev, N.I. Pasko // Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2018. – № 9 (70). – S. 15–20.
14. Martinov G.M., Grigoryev A.S. Diagnostirovaniye rezhushchikh instrumentov i prognozirovaniye ikh ostatnochnoy stoykosti na stankakh s CHPU v protsesse obrabotki // STIN. 2012. 12. S. 23–27.
15. Pasko, N.I. Raschet perioda planovo–predupreditelnoy zameny instrumentov / N.I. Pasko // Stanki i instrument. – 1976. – №1. – S. 24–26.
16. Ivchenko, T.G. Prognozirovaniye parametrov zakona raspredeleniya stoykosti rezhushchego instrumenta kak sluchaynoy velichiny / T.G. Ivchenko // Progressivnyye tekhnologii i sistemy mashinostroyeniya. – Donetsk: DonNTU. – 2016. – № 3(54). – S. 49–54.
17. Katsev, P.G. Otsenka nadezhnosti instrumenta na osnove zakona raspredeleniya stoykosti / P.G. Katsev // Nadezhnost rezhushchego instrumenta: sb. st. – K: Tekhnika. – 1972. – S. 33–45.
18. Esterzon, M.A. Tekhnologicheskiye kriterii smeny instrumenta na tokarnykh stankakh s CHPU / M.A. Esterzon, V.D. Umanskaya // Sovershenstvovaniye metallorazhushchego oborudovaniya i osnastki dlya kompleksnogo osnashcheniya seriynogo i melkoseriynogo proizvodstva. – M.: Mashinostroyeniye. – 1976. – C. 56–66.
19. Vagnorius, Z. Determining optimal replacement time for metal cutting tools / Z. Vagnorius, M. Rausand, K. Sørby // European Journal of Operational Research. – 2010. – № 206. – Pp. 407–416.
20. Antsev, A.V. Upravleniye nadezhnostyu rezhushchego instrumenta s uchetom faktora sluchaynosti

protsesta rezaniya / A.V. Antsev // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2018. – № 4–2 (330). – S. 90–102.

21. The generalized mathematical model of the failure of the cutting tool / Pasko N.I. [et al.] // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – № 177. – 012052. DOI:10.1088/1757-899X/177/1/012052.

22. Pasko, N.I. Statisticheskiye metody v upravlenii kachestvom // N.I. Pasko, A.V. Antsev. – Tula: Izd-vo TulGU, 2014. – 173 s.

23. Shcherban, L.F. Issledovaniye prochnosti rezhushchey chasti tortsovo-tsilindricheskikh tverdosplavnykh frez / L.F. Shcherban // Nadezhnost rezhushchego instrumenta (sbornik statey). – K.: Izd-vo «Tekhnika», 1972. – S. 206–209.

Antsev Alexander Vitalievich

FSBEE of HE «Tula State University»

Candidate of Technical Sciences, docent, docent of

«Technology of Mechanical Engineering» department

300012, Tula, pr. Lenina, 92

Ph. (4872) 25–46–48

E-mail: a.antsev@yandex.ru

УДК502.174:697.7

Е.В. БУРКОВА, Д.В. БУРКОВ

СНИЖЕНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТ КОТЕЛЬНЫХ В УСЛОВИЯХ КРЫМА

Аннотация. Проведен анализ выбросов опасных веществ от сжигания топлива в котельных и их воздействие на человека и окружающую среду. Рассмотрены перспективы использования альтернативных источников энергии в Крыму для снижения уровня антропогенного воздействия от котельных.

Ключевые слова: альтернативная энергия, антропогенное воздействие, загрязнение окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчёт содержания вредных веществ и их распределение в воздухе: справочное изд. / Н.Ф. Тищенко. – М.: Химия, 1991. – 368 с.

2. Геоэкология: научно-методическая книга по экологии / В.А.Боков и др. – Симферополь: Таврия, 1996. – 334 с.

3. Твайделл Дж. Возобновляемые источники энергии [пер. с англ.] / Дж. Твайделл, А. Уэйр; под ред. В. А. Коробкова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 390 с.

4. Солнечная энергетика в Крыму: методическое пособие для специалистов и всех интересующихся проблемами использования солнечной энергии / под редакцией В.А. Бокова, В.У. Стоянова. – Киев–Симферополь, 2008. – 201 с.

5. Roselund C. Large-scale PV comes to the Ukraine: Active Solars Ohotnikovo and Perovo PV plants [Electronic resource] / C. Roselund // Solar Server. Global Solar Industry Website. – Режим доступа: <http://www.solarserver.com/>

Буркова Елена Викторовна

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь

Кандидат технических наук, доцент кафедры

«Техносферная безопасность»

E-mail: lena1b@mail.ru

Бурков Дмитрий Валериевич

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь

Кандидат технических наук, доцент кафедры

«Энергоустановки морских судов и сооружений»

E-mail: dv.burkov@mail.ru

E.V. BURKOVA, D.V. BURKOV

REDUCING ANTHROPOGENIC IMPACTS FROM BOILERS IN CRIMEA

Abstract. The analysis of emissions of hazardous substances from fuel combustion in boilers and their impact on humans and the environment. The prospects of using alternative sources of energy in the Crimea to reduce the level of anthropogenic impact from boilers are considered.

Keywords: alternative energy, anthropogenic impact, environmental pollution.

BIBLIOGRAPHY

1. Tishchenko N. F. Protection of atmospheric air. Calculation of the content of harmful substances and their distribution in the air: reference ed. / N. F. Tishchenko. – Moscow: Chemistry, 1991. – 368 p.
2. Ecology: scientific–methodical book on ecology / V. A. Bokov, etc. – Simferopol: Tavria, 1996. – 334 p.
3. Twidell J. Renewable sources of energy [per.s angl.] / J. The tvaydell, A. Weir; under the editorship of V. A. Korobkov. – Moscow: Energoatomizdat, 1990. – 390 p.
4. Solar energy in Crimea: Handbook for specialists and all interested in the problems of solar energy / edited by V. A. Bokova, V. U. Stoyanov. – Kiev–Simferopol, 2008. – 201 p.
5. Roselund C. Large-scale PV comes to the Ukraine: Active Solars Ohotnikovo and Perovo PV plants [Electronic resource] / C. Roselund // Solar Server. Global Solar Industry Website. – Режим доступа: <http://www.solarserver.com/>

Burkova ElenaViktorovna
Sevastopol State University, Sevastopol
Ph.D., associate professor of the Department
«Technosphere safety»
E-mail: lena1b@mail.ru

BurkovDmitiyValerievich
Sevastopol State University, Sevastopol
Ph.D., associate professor of the Department «Power
plants of ships and structures»
E-mail: dv.burkov@mail.ru

УДК. 621.791:620.4

Т.В. ПРОХОРОВА, А.А. ЛАНИН

МОДЕЛЬ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ

Аннотация. Предложена модель разрушения сварных соединений хромомолибденованадиевых и 9–12% хромистых сталей при высокотемпературной ползучести по критерию повреждаемости. Выполнено численное моделирование разрушения сварных образцов из стали P91 (10XCrMoVNb–9–1) при 625°C. Определены зависимости длительной прочности от относительной ширины зоны с низким сопротивлением ползучести (мягкой прослойки) и соотношения скоростей ползучести мягкой прослойки (МПП) и основного металла (ОМ).

Ключевые слова: ползучесть, длительная прочность, повреждаемость, трещины IV типа, мягкая прослойка, зона термического влияния (ЗТВ), зона мелкого зерна ЗТВ, межкритический интервал ЗТВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Земзин, В.Н. Жаропрочность сварных соединений — Л.: Машиностроение, 1972. — 272 с.
2. Шрон, Р.З. Влияние неоднородности свойств сварных соединений на их склонность к хрупким разрушениям в условиях ползучести / Р.З. Шрон, А.И. Корман // Сварочное производство. — 1972. — № 12. — С. 12–14.
3. Шрон Р.З. О прочности при растяжении сварных соединений с мягкой прослойкой в условиях ползучести/Р.З. Шрон // Сварочное производство. — 1970. — №5. — С. 6–8.
4. Hayhurst, D.R. CDM mechanisms-based modelling of tertiary creep: ability to predict the life of engineering components/ D.R. Hayhurst // Arch. Mech. — 2005. — v. 57, №2–3. — P. 103–132.
5. Hayhurst, R.J. Creep constitutive equations for parent, Type IV, R-HAZ, CG-HAZ and weld material in the range 565–640 °C for Cr–Mo–V weldments/ R.J. Hayhurst, R. Mustata, D.R. Hayhurst // Int. J. of Pres. Ves. and Piping. — 2005— v. 82. — P. 137–144.
6. Hyde, T.H. A review of the finite element analysis of repaired welds under creep conditions/ T.H. Hyde, J.A. Williams, A.A. Becker, W. Sun // OMMI. — 2003. — v. 2, № 2. — URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.515.98&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения 21.01.2017)
7. Perrin, J. Approximate creep rupture lifetimes for butt welded ferritic steel pressured pipes/ J. Perrin, D. R. Hayhurst, R.A. Ainsworth // Eur. J. Mech. A/Solids. — 2000.— v. 19. — P. 223–258.
8. Gaffard, V. Experimental study and modelling of high temperature creep flow and damage behaviour of 9Cr1Mo–NbV steel weldments: PhD thesis — France, 2004. — 329 p.
9. Gorash, Y. Development of a creep–damage model for non–isothermal long–term strength analysis of high–temperature components operating in a wide stress range: PhD thesis. — Halle, 2008. — P. 108.
10. Dimmler, G. P. Extrapolation of short–term creep rupture data – The potential risk of over–estimation/ G. P. Dimmler, G. Weinert, H. Cerjak // IJPVP. — 2008. — v. 85. — P. 55–62.
11. Kloc, L. Influence of the loading history on the creep of the 9% chromium steel at low creep rates/ L. Kloc, V. Sklenichka // METAL 2004 (13): Int. Conf. (Hradec nad Moravicí (CZ), 04.05.18–04.05.20). — Hradec nad Moravicí (CZ), 2004. — P. 1–7.
12. Kloc, L. Internal stress model for pre–primary stage of low–stress creep//15th International Conference on the Strength of Materials (ICSMA–15) J. Phys.: Conf. Ser. — 2010. — vol. 240, № 1. — 012086 — URL: <http://iopscience.iop.org/1742-6596/240/1/012086> (дата обращения 21.02.2016)

13. Esposito, L.A primary creep model for Class M materials/ L. Esposito, N. Bonora //Materials Science and Engineering A – 2011. – v. 528. – P. 5496–5501.
14. Прохорова, Т.В. Прогнозирование длительной прочности разнородных сварных соединений хромомолибденованадиевых и 9–12% хромистых сталей: дисс. канд. тех. наук. — СПб, 2017. — 185 с.
15. Гецов, Л.Б. Материалы и прочность деталей газовых турбин. В двух книгах. Кн. 1/ Л.Б. Гецов.— Рыбинск: ООО «Издательский дом «Газотурбинные технологии», 2010. — 611 с.
16. Holmström, S. Modeling and verification of creep strain and exhaustion in a welded steam mixer/ Holmström S., Rantala J.//Journal of Pressure Vessel Technology. – 2009. – v. 131, № 6, 061405. – 5 p.
17. Penny, R.K. Design for Creep/ R.K. Penny, D.L. Marriott – sec. ed. – London: Chapman&Hall, 1995. – 430 p.
18. Stepanova, T.R. Modeling of the High Temperature Creep and Rupture under the Complex Stress State/ T.R. Stepanova, T.V. Prokhorova // Materials Science Forum. – 2016. – v. 870. – P. 528–534.
19. Hancock, J.W. On the mechanisms of ductile failure in high–strength steels subjected to multi–axial stress–states/ J.W. Hancock, A.C. Mackenzie //J. Mech. Phys. Solids, – 1976. – v. 24. — P. 147–169.
20. Ланин, А.А. Характеристики длительной прочности, структура и свойства разнородных сварных соединений из сталей 15X1M1Ф и X10CrMoVNb 9–1(P91) / А.А. Ланин, Т.В. Прохорова, С.Г. Ханжин // «Электрические станции». – 2017. – № 2. – С. 46–54.
21. Sklenicka, V. Creep behaviour of modified 9%Cr martensitic steels after long term annealing/ V. Sklenicka, J. Kudrman, K. Kucharova at all // “METAL 2004”: 13 int. conf. (Hradec nad Moravici (CZ), 04.05.18–04.05.20). – Hradec nad Moravici, 2004. – 9 p.

Прохорова Татьяна Владимировна

ОАО «Научно–производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова» (ОАО «НПО ЦКТИ») г. Санкт–Петербург
Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
191167, Санкт–Петербург, ул. Атаманская, д. 3/6
Тел. (812)292–90–73
E–mail: tv.prokhorova@mail.ru

Ланин Александр Алексеевич

ОАО «Научно–производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова» (ОАО «НПО ЦКТИ») г. Санкт–Петербург
Доктор технических наук, профессор, руководитель экспертной организации.
191167, Санкт–Петербург, ул. Атаманская, д. 3/6
Тел. (812)297–58–60
E–mail: svarka@ckti.ru

T.V. PROKHOROVA, A.A. LANIN

THE BRITTLE FRACTURE MODEL OF WELDING JOINT AT HIGH–TEMPERATURE CREEP

Abstract. *The creep rupture model of Cr–Mo, Cr–Mo–V and 9–12% steels welding joints at high temperature is presented. Kachanov–Rabotnov constitutive equations with one state variable are used. Numerical simulation of creep rupture of welded specimens from steel P91 (10XCrMoVNb–9–1) at 625°C is performed. The long–term strength dependences vs. the relative width of the zone with low creep resistance (soft interlayer) and the creep rates ratio of the soft interlayer (SL) and the base metal (BM) are determined.*

Keywords: *creep, time to rupture, damage, IV type crack, soft interlayer, heat affected zone (HAZ), fine grain zone, inter–critical zone (ICHAZ).*

BIBLIOGRAPHY

1. Zemzin, V.N. The welding joint heat resistance — Leningrad: Mashinostroenie, 1972. — 272 p.
2. Schron, R.Z. About tensile strength of welding joint with a soft interlayer under creep conditions // Svarochnoe proizvodstvo. — 1970. — № 5. — P. 6–8.
3. Schron, R.Z. Influence of the welded joints properties inhomogeneity in their tendency to brittle fracture in a creep conditions/ R.Z. Schron, A.I. Korman // Svarochnoe proizvodstvo. — 1972. — № 12. — P. 12–14.
4. Hayhurst, D.R. CDM mechanisms–based modelling of tertiary creep: ability to predict the life of engineering components // Arch. Mech. — 2005. — v. 57, №2–3. — P. 103–132.
5. Hayhurst, R.J. Creep constitutive equations for parent, Type IV, R–HAZ, CG–HAZ and weld material in the range 565–640 °C for Cr–Mo–V weldments/ R.J. Hayhurst, R. Mustata, D.R. Hayhurst // Int. J. of Pres. Ves. and Piping. — 2005— v. 82. — P. 137–144.
6. Hyde, T.H. A review of the finite element analysis of repaired welds under creep conditions/ T.H. Hyde, J.A. Williams, A.A. Becker, W. Sun // OMMI. — 2003. — v. 2, № 2. — URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.515.98&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения 21.01.2017)
7. Perrin, J. Approximate creep rupture lifetimes for butt welded ferritic steel pressured pipes/ J. Perrin, D. R. Hayhurst, R.A. Ainsworth // Eur. J. Mech. A/Solids. — 2000.— v. 19. — P. 223–258.
8. Gaffard, V. Experimental study and modelling of high temperature creep flow and damage behaviour of 9Cr1Mo–NbV steel weldments: PhD thesis — France, 2004. — 329 p.
9. Gorash, Y. Development of a creep–damage model for non–isothermal long–term strength analysis of high–temperature components operating in a wide stress range: PhD thesis. — Halle, 2008. — P. 108.

10. Dimmler, G. P. Extrapolation of short-term creep rupture data – The potential risk of over-estimation/ G. P. Dimmler, G. Weinert, H. Cerjak // IJPVP. – 2008. – v. 85. – P. 55–62.
11. Kloc, L. Influence of the loading history on the creep of the 9% chromium steel at low creep rates/ L. Kloc, V. Sklenicka // METAL 2004 (13): Int. Conf. (Hradec nad Moravici (CZ), 04.05.18–04.05.20). – Hradec nad Moravici (CZ), 2004. – P. 1–7.
12. Kloc, L. Internal stress model for pre-primary stage of low-stress creep//15th International Conference on the Strength of Materials (ICSMA-15) J. Phys.: Conf. Ser. – 2010. – vol. 240, № 1. – 012086 – URL: <http://iopscience.iop.org/1742-6596/240/1/012086> (дата обращения 21.02.2016)
13. Esposito, L.A primary creep model for Class M materials/ L. Esposito, N. Bonora // Materials Science and Engineering A – 2011. – v. 528. – P. 5496–5501. Lanin A.A., Ilin S.A., Prokhorova T.V. Investigation of dissimilar welded butt joints of thick-walled steam pipe systems of steam turbines // Tjzhjeloe mashinostroenie. — 2008. — №6. — P. 21–25.
14. Prokhorova, T.V. Creep strength prediction of dissimilar CrMoV and 9–12%Cr steels welded joints: PhD thesis. — SPb, 2017. – 185 p.
15. Guetsov L.B. Materials and Strength of the gas turbines details. two books, book 1.— Rybinsk: OOO «Publishing Hous «Gas turbine technology », 2010. — 611 p.
16. Holmström, S. Modeling and verification of creep strain and exhaustion in a welded steam mixer/ Holmström S., Rantala J. // Journal of Pressure Vessel Technology. – 2009. – v. 131, № 6, 061405. – 5 p.
17. Penny, R.K. Design for Creep/ R.K. Penny, D.L. Marriott – sec. ed. – London: Chapman&Hall, 1995. – 430 p.
18. Stepanova, T.R. Modeling of the High Temperature Creep and Rupture under the Complex Stress State/ T.R. Stepanova, T.V. Prokhorova // Materials Science Forum. – 2016. – v. 870. – P. 528–534.
19. Hancock, J.W. On the mechanisms of ductile failure in high-strength steels subjected to multi-axial stress-states/ J.W. Hancock, A.C. Mackenzie // J. Mech. Phys. Solids, – 1976. – v. 24. — P. 147–169.
20. Lanin, A.A. Stress-rupture strength, structure, and properties of welded joints of 15Kh1M1F and X10CrMoVNb9–1 (P91) steels/ A.A. Lanin, T.V. Prokhorova, S.G. Khanzhin // Power Technology and Engineering. – 2017. – Vol. 51, No. 3. – P. 309–317.
21. Sklenicka V. Creep behaviour of modified 9%Cr martensitic steels after long term annealing/ V. Sklenicka, J. Kudrman, K. Kucharova at all // “METAL 2004”: 13 int. conf. (Hradec nad Moravici (CZ), 04.05.18–04.05.20). – Hradec nad Moravici, 2004. – 9 p.

Prokhorova Tatiana Vladimirovna

Joint-Stock Company “I.I. Polzunov Scientific and Development Association on Research and Design of Power Equipment” “NPO CKTI” St.Petersburg
Ph.D., Leading Researcher
191167, Russia, St.Petersburg, Atamanskaya str., 3/6
Tel. (812)292–90–73
E-mail: tv.prokhorova@mail.ru

Lanin Alexandr Alexeevich

Joint-Stock Company “I.I. Polzunov Scientific and Development Association on Research and Design of Power Equipment” “NPO CKTI” St.Petersburg
Ph.D., Professor, Head of the expert organization
191167, Russia, St.Petersburg, Atamanskaya str., 3/6
Tel. (812)297–58–60
E-mail: svarka@ckti.ru

УДК 621.923

В.Г. ХРОМОВ, А.В. НЕМЕНКО, М.М. НИКИТИН

ОПТИМИЗАЦИЯ КОЛЬЦЕВОЙ РАЗГРУЗКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ С ПОВЕРХНОСТЯМИ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Аннотация. Рассмотрена задача финишной обработки детали вида тонкой круглой пластинки постоянной толщины с малым искривлением в виде заданной поверхности вращения второго порядка. Предложено применение кольцевой разгрузки сил, действующих на заготовку, в сочетании с учётом упругих перемещений и обработкой заготовки по закону, учитывающему эти перемещения. Получены геометрические характеристики – эксцентриситет и вершинный радиус кривизны поверхности, по которой следует вести обработку при заданном технологическом давлении обработки, с тем, чтобы после его снятия поверхность получила бы заданные эксцентриситет и вершинный радиус кривизны. Получены соотношения между геометрическими и упругими характеристиками заготовки, позволяющие выбрать такое технологическое давление, при котором возможна обработка заготовки по сферической поверхности. Показано, что для детали постоянной толщины задача решается как для выпуклой так и для вогнутой поверхности с точностью до слагаемых четвёртого порядка в уравнении образующей.

Ключевые слова: финишная обработка, шлифование, полирование, обработка в напряжённом состоянии, поверхность второго порядка, эксцентриситет, радиус кривизны, система разгрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новосёлов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке/ Ю.К. Новосёлов – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2012. – 304 с.

2. Макаров В.Ф. Выбор абразивных инструментов и режимов для высокоэффективного шлифования заготовок/ В.Ф. Макаров – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2011. – 231 с.

3. Каширин В.И. Формообразование оптических поверхностей. Курс лекций/В.И. Каширин – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006 – 284 с.

4. Максutow Д.Д. Изготовление и исследование астрономической оптики. 2–е изд./Д.Д. Максutow – М.: Наука, 1984. – 272 с.

5. Никитин М.М. Применение упругих деформаций к изготовлению оптических зеркал/М.М. Никитин// м–лы межд. научно–техн. конф. «Моделирование и исследование сложных систем», Севастополь, 11 – 19 сент. 1999 г., т. 2. «Моделирование электронных приборов и техпроцессов, обеспечение качества, надежности и радиационной стойкости приборов и аппаратуры», М.: МГАПИ, 2000. С. 103 – 108.

6. Погорелов В.И. Строительная механика тонкостенных конструкций/В.И. Погорелов – С–Пб.:БХВ–Петербург, 2007. – 528 с.

Хромов Владимир Гаврилович
ФГАОУ «Севастопольский
государственный университет»,
г. Севастополь
Доктор технических наук,
профессор
299053, г. Севастополь, ул.
Университетская, 33

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

Никитин Михаил Михайлович
ФГАОУ «Севастопольский
государственный университет», г.
Севастополь
Аспирант кафедры «Высшая
математика»
299053, г. Севастополь, ул.
Университетская, 33
Тел. +79780621579
E–mail: m.nikitin.1979@gmail.com

V.G. CHROMOV, A.V. NEMENKO, M.M. NIKITIN

OPTIMIZATION OF RING–TYPE UNLOADING DEVICE IN MANUFACTURING OF DETAILS WITH SECOND ORDER SURFACES

Abstract. *The problem of finishing the details of the form of a thin circular plate of constant thickness with a small curvature in the form of a given surface of rotation of the second order is considered. The use of ring unloading of forces acting on the workpiece in combination with taking into account elastic displacements and processing the workpiece according to the law taking these displacements into account has been proposed. Geometric characteristics — eccentricity and the vertex radius of curvature of the surface, which should be processed at a given processing pressure — so that after its removal the surface would receive the specified eccentricity and vertex radius of curvature. The relations between the geometrical and elastic characteristics of the workpiece are obtained, allowing to choose the technological pressure at which the workpiece can be processed along a spherical surface. It is shown that for a part of constant thickness, the problem is solved for both a convex and a concave surface up to fourth order terms in the generator equation.*

Keywords: *finishing, grinding, polishing, processing in a stressed state, second–order surface, eccentricity, radius of curvature, unloading system.*

BIBLIOGRAPHY

1. Novosjолоv Ju.K. Dinamika formoobrazovaniya poverhnostej pri abrazivnoj obrabotke/ Ju.K. Novosjолоv – Sevastopol: Izd–vo SevNTU, 2012. – 304 s.

2. Makarov V.F. Vybor abrazivnyh instrumentov i rezhimov dlja vysokojeffektivnogo shlifovaniya zagotovok/ V.F. Makarov – Perm: Permskij nacionalnyj issledovatel'skij politehnicheskij universitet, 2011. – 231 s.

3. Kashirin V.I. Formoobrazovanie opticheskikh poverhnostej. Kurs lekcij/V.I. Kashirin – Ekaterinburg: GOU VPO UGTU–UPI, 2006 – 284 s.

4. Maksutov D.D. Izgotovlenie i issledovanie astronomicheskoy optiki. 2–e izd./D.D. Maksutov – M.: Nauka, 1984. – 272 s.

5. Nikitin M.M. Primenenie uprugih deformacij k izgotovleniju opticheskikh zerkal/M.M. Nikitin// m–ly mezhd. nauchno–tehn. конф. «Modelirovanie i issledovanie slozhnyh sistem», Sevastopol, 11 – 19 sent. 1999 g., t. 2. «Modelirovanie jelektronnyh priborov i tehprocessov, obespechenie kachestva, nadezhnosti i radiacionnoj stojkosti priborov i apparatury», M.: MGAPI, 2000. S. 103 – 108.

6. Pogorelov V.I. Stroitel'naja mehanika tonkostennyh konstrukcij/V.I. Pogorelov – S–Pb.:BHV–Peterburg, 2007. – 528 s.

Chromov Vladymir Gavrilovich
FSAEI HE Sevastopol State University,

Nemenko Alexandra Vasilevna
FSAEI HE Sevastopol State

Nikitin Michael Mihailovich
FSAEI HE Sevastopol State

Sevastopol
Doctor in Tech Science, professor
Universitetskaya st, 33, Sevastopol,
Russian Federation, 299053

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

University, Sevastopol
Post-graduate student of chair
«Higher Mathematics »
Universitetskaya st, 33,
Sevastopol, Russian Federation,
299053
Phone +79780621579
E-mail:
m.nikitin.1979@gmail.com

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

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

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

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

- Структура статьи:

УДК:

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

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

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

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

Текст статьи:

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

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

Фамилия, имя, отчество;

учреждение или организация;

ученая степень, ученое звание, должность;

адрес;

телефон;

электронная почта.

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

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

- Рисунки – черно-белые. Если рисунок создан средствами MS Office, необходимо преобразовать его в картинку. Для растровых рисунков разрешение не менее 300 dpi. 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: radsu@rambler.ru

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

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

Подписано в печать 12.07.2019 г.
Дата выхода в свет
Формат 60х88 1/8. Усл. печ. л. 13,438.
Цена свободная. Тираж 600 экз.
Заказ _____

Отпечатано с готового оригинал–макета