

**Редакционный совет:**

**Пилпенко О.В.** д-р техн. наук, проф.,  
председатель  
**Голенков В.А.** д-р техн. наук, проф.,  
зам. председателя  
**Пузанкова Е.Н.** д-р пед. наук, проф.,  
зам. председателя  
**Радченко С.Ю.** д-р техн. наук, проф.,  
зам. председателя  
**Борзенков М.И.** канд. техн. наук, доц.,  
секретарь  
**Астафичев П.А.** д-р юрид. наук, проф.  
**Авдеев Ф.С.** д-р пед. наук, проф.  
**Желтикова И.В.** канд. фил. наук, доц.  
**Иванова Т.Н.** д-р техн. наук, проф.  
**Зомитова Г.М.** канд. экон. наук, доц.  
**Колчунов В.И.** д-р техн. наук, проф.  
**Константинов И.С.** д-р техн. наук, проф.  
**Коськин А.В.** д-р техн. наук, проф.  
**Новиков А.Н.** д-р техн. наук, проф.  
**Попова Л.В.** д-р экон. наук, проф.  
**Уварова В.И.** канд. фил. наук, доц.

**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.  
**Шоркин В.С.** д-р физ.-мат. наук, проф.

**Члены редколлегии:**

**Бабичев А.П.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Бухач А.** д-р техн. наук, проф. (Польша)  
**Вдовин С.И.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Голенков В.А.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Дьяконов А.А.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Емельянов С.Г.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Зубчанинов В.Г.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Иванов Б.Р.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Киричек А.В.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Копылов Ю.Р.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Кузурь В.Д.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Лавриненко В.Ю.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Ли Шенбо.** канд. техн. наук, доц. (Китай)  
**Мирсалимов В.М.** д-р физ.-мат. наук, проф.  
(Азербайджан)  
**Мулюкин О.П.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Осадчий В.Я.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Пилпенко О.В.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Распопов В.Я.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Смоленцев В.П.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Старовойтов Э.И.** д-р физ.-мат. наук, проф.  
(Беларусь)  
**Степанов Ю.С.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Хейфец М.Л.** д-р техн. наук, проф. (Беларусь)

**Ответственный секретарь:**

**Гюхта А.В.** канд. техн. наук

**Адрес редакции**

302030, г. Орел, ул. Московская, 34  
+7(920)2806645, +7(906)6639898  
http://oreluniver.ru  
E-mail: tiostu@mail.ru

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

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

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2017

## Содержание

### Материалы международной научно-технической конференции «Динамика, надежность и долговечность механических и биомеханических систем»

#### Секция «Теоретическая и прикладная механика»

<i>Ларин С.Н., Платонов В.И., Яковлев С.С.</i> Определение величины повреждаемости при формировании прямоугольных каналов в многослойных листовых конструкциях .....	3
<i>Горский Ю.А.</i> Автоматизация расчетов при оценке термонапряженного состояния элементов паровых турбин.....	9
<i>Грязев М.В., Ларин С.Н.</i> Подход к разработке математической модели процесса раздачи трубы коническим пуансоном.....	12
<i>Коваль К.А., Сухоруков А.Л.</i> Об использовании формализма Виттенбурга в задаче расчета динамики составного плавникового движителя.....	18
<i>Люминарская Е.С., Люминарский И.Е.</i> Теоретические исследования предвестников отказов в микропереключателях стержневого типа.....	25
<i>Пахляук В.И.</i> Расширение условий моделирования износа в сферическом шарнире с полимерным элементом тотального эндпротеза газобедренного сустава.....	34
<i>Пожалостин А.А., Панишина А.В.</i> Автоколебания одной механической системы с сухим трением.....	44
<i>Поляков А.М., Колесова М.А., Штанько П.К.</i> Вещественные функции, функционалы и законы сохранения.....	50
<i>Порошин В.В., Богомолов Д.Ю.</i> Математическое моделирование теплопереноса вязкой жидкости в узком трехмерном канале с шероховатыми стенками.....	55
<i>Сулимов В.Д., Шкапов П.М., Сулимов А.В.</i> Устойчивость по Якоби и вычислительная диагностика динамических систем с использованием гибридных алгоритмов.....	61
<i>Чемакина Т.Л., Морева И.Н., Дьячук Н.С.</i> Методика определения сил действующих на судно в период якорной стоянки .....	72
<i>Баженов В.Г., Казаков Д.А., Назорных Е.В., Осетров Д.Л., Рябов А.А.</i> Численное и экспериментальное исследование упругопластических процессов растяжения-кручения цилиндрических образцов из стали 09Г2С при больших деформациях.....	76
<i>Самуйлов С.Д., Троицкий О.А.</i> Электропластическое компактирование (брикетирование) дисперсных проводящих материалов для рециклинга отходов высокопрочных сплавов, получения заготовок, полуфабрикатов, материалов и изделий с новым уровнем свойств.....	83
<i>Буркова Е.В., Бурков Д.В.</i> Анализ работы системы по накоплению и передаче тепловой солнечной энергии.....	90

#### Секция «Технологии и инструменты»

<i>Бохонский А.И., Чалая Е.С.</i> Динамические гасители колебаний нежестких заготовок при токарной обработке .....	95
<i>Заморёнов М.В.</i> Сравнительный анализ результатов аналитического и имитационного моделирования процесса функционирования технической системы с учетом проведения профилактического обслуживания .....	100
<i>Ткач С.Н.</i> Оценка эффективности технических характеристик заборных охладителей судовых замкнутых систем охлаждения .....	106
<i>Токарев Д.А.</i> Оптимизация течения импульсных струй в теплообменных устройствах.....	117
<i>Федоровская Н.К.</i> Экологически безопасная система охлаждения энергоустановок.....	126
<i>Филипович О.В.</i> Разработка структуры информационно-управляющей системы металлорежущего станка при наличии послеоперационного контроля.....	134
<i>Шатульский А.А.</i> Экспериментальное определение коэффициента расхода элементов литниковой системы.....	141
<i>Горелова А.Ю., Кристаль М.Г.</i> Влияние динамических характеристик системы «расточная головка-заготовка» на точность глубокого растачивания гильзы гидроцилиндра.....	146
<i>Сафронов Е.В., Носко А.Л.</i> Разработка испытательного оборудования для исследования работоспособности тормозных роликов гравитационных конвейеров .....	151
<i>Панкратов Д.Л., Жигулев И.О., Шибаков В.Г., Шибаков Р.В., Кроков А.Е.</i> Влияние технологических и механических свойств сплава на никелевой основе GH304 на способность к глубокой вытяжке .....	159

## Editorial council

**Pilipenko O.V.** Doc. Sc. Tech., Prof.,  
president  
**Golenkov V.A.** Doc. Sc. Tech., Prof.,  
vice-president  
**Puzankova E.N.** Doc. Sc. Ped., Prof.,  
vice-president  
**Radchenko S.Yu.** Doc. Sc. Tech., Prof.,  
vice-president  
**Borzenkov M.I.** Candidate Sc. Tech.,  
Assistant Prof, secretary  
**Astafichev P.A.** Doc. Sc. Law., Prof.  
**Avdeev F.S.** Doc. Sc. Ped., Prof.  
**Zheltikova I.V.** Doc. Sc. Phil., Prof.  
**Ivanova T.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Zomiteva G.M.** Candidate Sc. Ec., Assistant Prof.  
**Kolchunov V.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Konstantinov I.S.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Koskin A.V.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Novikov A.N.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Popova L.V.** Doc. Sc. Ec., Prof.  
**Uvarova V.I.** Candidate Sc. Phil., Assistant Prof.

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

## Member of editorial board

**Babichev A.P.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)  
**Buchach A.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Poland)  
**Vdovin S.I.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)  
**Golenkov V.A.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)  
**Dyakonov A.A.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)  
**Emelyanov S.G.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)  
**Subchaninov V.G.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)  
**Ivanov B.R.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)  
**Kirichek A.V.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)  
**Kopylov Yu.R.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)  
**Kukhar V.D.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)  
**Lavrynenko V.Yu.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)  
**Li Shenbo.** Cand. Sc. Tech., Assist. Prof. (China)  
**Mirsalimov V.M.** Doc. Sc. Ph. - Math., Prof.  
(Azerbaijan)  
**Mulyukin O.P.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)  
**Osadchy V.Ya.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)  
**Pilipenko O.V.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)  
**Raspopov V.Ya.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)  
**Smolenzev V.P.** 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: tiostu@mail.ru

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

Index on the catalogue of the  
«Pressa Rossii» 29504

© Orel State University, 2017

## Contents

### Materials of the international scientific and technical conference «Dynamics, reliability and durability of mechanical and biomechanical systems»

#### Section «Theoretical and Applied Mechanics»

<i>Larin S.N., Platonov V.I., Yakovlev S.S.</i> The determination of the amount of damage when the formation of rectangular channels in a multilayer sheet structures.....	3
<i>Gorsky Yu.A.</i> Automation of calculations in estimating thermomaged state elements of steam turbines.....	9
<i>Gryazev M.V., Larin S.N.</i> Approach to development of the mathematical model of the process of pipe distribution with a tape punch.....	12
<i>Koval K.A., Sukhorukov A.L.</i> The use of the formalism of Wittenburg in the problem of the dynamics a composite sleeve moverner .....	18
<i>Lyuminarskaya E.S., Lyuminarskiy I.E.</i> Theoretical study of precursors of failure in the switch rod type.....	25
<i>Pakhaliuk V.I.</i> Expanding the simulation of wear in a spherical joint with polymeric element of a total hip arthroplasty .....	34
<i>Pozhalostin A.A., Panshina A.V.</i> Auto-oscillation of one mechanical system with dry friction .....	44
<i>Poliakov A.M., Kolesova M.A., Shtanko P.K.</i> Real functions, functionals and conservation laws.....	50
<i>Poroshin V.V., Bogomolov D.Yu.</i> Adaptive local defect filter for surface topography control of mechanical system elements.....	55
<i>Sulimov V.D., Shkapov P.M., Sulimov A.V.</i> Jacobi stability and computational diagnostics of dynamical systems using hybrid algorithms.....	61
<i>Chemakina T.L., Moreva I.N., Dyachuk N.S.</i> Methodology of definition of forces acting on the vessel in the period of anchor parking.....	72
<i>Bazhenov V.G., Kazakov D.A., Nagornyykh E.V., Osetrov D.L., Ryabov A.A.</i> Numerical and experimental study of elastoplastic tension-torsion processes of cylindrical specimens from steel 09G2S under large deformations.....	76
<i>Samuilov S.D., Troitsky O.A.</i> Electrical plasticity compacting (briquetting) of dispersed electrical conducting material for recycling of waste high-strength alloy, producing of blank, semifinished item, material and finished item with a new level of property.....	83
<i>Burkova E.V., Burkov D.V.</i> Operation analysis of a thermal solar energy accumulation and transfer system.....	90

#### Section «Technologies and Tools»

<i>Bohonsky A.I., Chalaya E.S.</i> Dynamic damians of vibrations of heavy articles in turning processing .....	95
<i>Zamoryonov M.V.</i> Comparative analysis of the results of the analytic and imitative modelling of the process of the functioning of the technical system with the account of prevention of preventive maintenance.....	100
<i>Tkach S.N.</i> Evaluation of the effectiveness of the technical characteristics of the box coolers marine closed cooling systems .....	106
<i>Tokarev D.A.</i> Optimization flow of impact jets in heat exchanger devices.....	117
<i>Fedorovskaya N.K.</i> Ecologically safe system for cooling power plants.....	126
<i>Filipovich O.V.</i> Development of the structure of the information and control system of the metal-cutting machine tool with post-operative control.....	134
<i>Shatulsky A.A.</i> The experimental definition of coefficient flow of gate system elements .....	141
<i>Gorelova A.Yu., Crystal M.G.</i> Influence of dynamic characteristics of the «break-heading-storage» system on the accuracy of deep-breaking the hydrocylinder gilz.....	146
<i>Safronov E.V., Nosko A.L.</i> Development of test equipment to study the efficiency of brake rollers for gravity conveyors.....	151
<i>Pankratov D.L., Zhigulov I.O., Shibakov V.G., Shibakov R.V., Kryukov A.E.</i> Influence of technological and mechanical properties ratio of nickel-base heat-resistant alloy on ability to deep drawing.....	159

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

## СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА»

УДК 621.983; 539.374

С.Н. ЛАРИН, В.И. ПЛАТОНОВ, С.С. ЯКОВЛЕВ

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КАНАЛОВ В МНОГОСЛОЙНЫХ ЛИСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

**Аннотация.** В статье представлены основные моменты разработки математической модели пневмоформовки прямоугольных каналов в многослойных листовых конструкциях, для двух разных групп материалов, проявляющих различные свойства в зависимости от скоростных параметров процесса. Полученные в ходе моделирования зависимости позволяют определить величину повреждаемости материала в процессе формовки, критическую высоту формируемых каналов и время формовки. Исследования выполнены для стадии формирования элементов в углах конструкций.

**Ключевые слова:** формоизменение, многослойные конструкции, прямоугольные каналы, силовые параметры.

*Работа выполнена в рамках грантов РФФИ № № 16–48–710016 и 16–08–00020.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изотермическая пневмоформовка анизотропных высокопрочных листовых материалов / С.Н. Ларин [и др.] / под ред. С.С. Яковлева. – М.: Машиностроение, 2009. – 352 с.
2. Яковлев, С.С. Изотермическая пневмоформовка элементов ячеистых многослойных листовых конструкций из анизотропных высокопрочных материалов в режиме ползучести / С.С. Яковлев, С.Н. Ларин, В.И. Трегубов. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. – 173 с.
3. Малинин, Н.Н. Ползучесть в обработке металлов / Н.Н. Малинин. – М.: Машиностроение, 1986. – 216 с.
4. Григорьев, А.С. О теории и задачах равновесия оболочек при больших деформациях / А.С. Григорьев // Известия АН СССР. Механика твердого тела, 1970. – № 1. – С. 163–168.
5. Изотермическое деформирование высокопрочных анизотропных металлов / С.П. Яковлев, В.Н. Чудин, С.С. Яковлев, Я.А. Соболев. М: Машиностроение, Изд-во ТулГУ, 2004. – 427 с.
6. Изотермическое деформирование металлов / С.З. Фиглин, В.В. Бойцов, Ю.Г. Калпин, Ю.И. Каплин. М.: Машиностроение, 1978. – 239 с.
7. Работнов, Ю.Н. Кратковременная ползучесть / Ю.Н. Работнов, С.Т. Милейко. – М.: Наука, 1970. – 224 с.

**Ларин Сергей Николаевич**  
Тульский государственный  
университет, г. Тула  
д-р техн. наук, заведующий  
кафедрой «Механика  
пластического формоизменения»  
E-mail: mpf-tula@rambler.ru

**Платонов Валерий Иванович**  
Тульский государственный  
университет, г. Тула  
канд. техн. наук, доцент кафедры  
«Механика пластического  
формоизменения»  
E-mail: mpf-tula@rambler.ru

**Яковлев Сергей Сергеевич**  
Тульский государственный  
университет, г. Тула  
студент  
E-mail: mpf-tula@rambler.ru

S.N. LARIN, V.I. PLATONOV, S.S. YAKOVLEV

## THE DETERMINATION OF THE AMOUNT OF DAMAGE WHEN THE FORMATION OF RECTANGULAR CHANNELS IN A MULTILAYER SHEET STRUCTURES

**Abstract.** *The article presents the main points of the development of a mathematical model for the pneumoforming of rectangular channels in multi-layer sheet structures for two different groups of materials exhibiting different properties depending on the speed parameters of the process. The dependencies obtained during the modeling allow to determine the amount of material damage during the forming process, the critical height of the molded channels and the molding time. The investigations were performed for the stage of forming elements in the corners of the structures.*

**Keywords:** *shape change, multilayer constructions, rectangular channels, power parameters.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Izotermicheskaya pnevmoformovka anizotropnykh vysokoprochnykh listovykh materialov / S.N. Larin [i dr.] / pod red. S.S. Yakovleva. – M.: Mashinostroyeniye, 2009. – 352 s.
2. Yakovlev, S.S. Izotermicheskaya pnevmoformovka elementov yacheistykh mnogosloynnykh listovykh konstruktsey iz anizotropnykh vysokoprochnykh materialov v rezhime polzuchesti / S.S. Yakovlev, S.N. Larin, V.I. Tregubov. – Tula: Izd-vo TulGU, 2011. – 173 s.
3. Malinin, N.N. Polzuchest v obrabotke metallov / N.N. Malinin. – M.: Mashinostroyeniye, 1986. – 216 s.
4. Grigoryev, A.S. O teorii i zadachakh ravnesiya obolochek pri bolshikh deformatsiyakh / A.S. Grigoryev // Izvestiya AN SSSR. Mekhanika tverdogo tela, 1970. – № 1. – S. 163–168.
5. Izotermicheskoye deformirovaniye vysokoprochnykh anizotropnykh metallov / S.P. Yakovlev, V.N. Chudin, S.S. Yakovlev, YA.A. Sobolev. M: Mashinostroyeniye, Izd-vo TulGU, 2004. – 427 s.
6. Izotermicheskoye deformirovaniye metallov / S.Z. Figlin, V.V. Boytsov, YU.G. Kalpin, YU.I. Kaplin. M.: Mashinostroyeniye, 1978. – 239 s.
7. Rabotnov, YU.N. Kratkovremennaya polzuchest / YU.N. Rabotnov, S.T. Mileyko. – M.: Nauka, 1970. – 224 s.

**Larin Sergey Nikolayevich**  
Tulskiy gosudarstvennyy universitet.  
g. Tula  
d-r tekhn. nauk. zaveduyushchiy  
kafedroy «Mekhanika plasticheskogo  
formoizmeneniya»  
E-mail: mpf-tula@rambler.ru

**Platonov Valeriy Ivanovich.**  
Tulskiy gosudarstvennyy universitet.  
g. Tula  
kand. tekhn. nauk. dotsent kafedry  
«Mekhanika plasticheskogo  
formoizmeneniya»  
E-mail: mpf-tula@rambler.ru

**Yakovlev Sergey Sergeyeovich**  
Tulskiy gosudarstvennyy universitet.  
g. Tula  
student  
E-mail: mpf-tula@rambler.ru

УДК 621.03

Ю.А. ГОРСКИЙ

## АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕРМОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПАРОВЫХ ТУРБИН

**Аннотация.** *Работа посвящена автоматизации расчетов температурных полей при оценке термонапряженного состояния паровых турбин. Приводится краткое описание разработанной компьютерной программы для расчета коэффициентов теплоотдачи. В настоящий момент результаты работы программы (создаваемый файл граничных условий) адаптированы к использованию в программном комплексе Ansys и используются при оценке термонапряженного состояния элементов турбин, проектировании и расчете ресурса при продлении срока эксплуатации. Опыт использования показал значительное снижение времени и трудозатрат на определение граничных условий, снижение вероятности численных ошибок.*

**Ключевые слова:** *паровая турбина, термонапряженное состояние, температурное поле, ротор, турбина, тепловой расчет, коэффициент теплоотдачи.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафонов, Л.П. Расчет температурных полей роторов и корпусов паровых турбин: руководящий технический материал / Л.П. Сафонов, А.Н. Коваленко, К.П. Селезнев. – Л.: НПО ЦКТИ, 1985.
2. Селезнев, К.П. Тепловое состояние роторов и цилиндров паровых и газовых турбин / К.П. Селезнев. – М. –Л.: Машиностроение, 1964.
3. Ривкин, С.В. Термодинамические свойства воды и водяного пара: справочник / С.В. Ривкин, А.А. Александров. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
4. IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam. International Association for the Properties of Water and Steam / Executive Secretary R.B. Dooley. Electric Power Research Institute. Palo Alto. CA 94304, USA.
5. Трубилов, М.А. Паровые и газовые турбины / М.А. Трубилов, Г.В. Арсеньев, В.В. Фролов. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
6. Георгиевская, Е.В. Современные подходы к расчету термонапряженного состояния паровых турбин / Е.В. Георгиевская, Ю.А. Горский // Новое в российской энергетике. – 2015. – № 11. – С.12–22.

### Горский Юрий Александрович

ОАО «Научно–производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова», 191167, Россия, Санкт–Петербург, Атаманская ул., д. 3/6.  
Инженер 3–й категории, Отдел прочности и ресурса энергооборудования  
E–mail: iurii.gorskii@gmail.com

---

Yu.A. GORSKY

## AUTOMATION OF CALCULATIONS IN ESTIMATING THERMONOMAGED STATE ELEMENTS OF STEAM TURBINES

**Abstract.** *The work is dedicated to the automation of temperature field calculations in the evaluation of thermal stress state of steam turbines. A brief description of the developed computer program for calculation of heat transfer coefficients is given. At the moment, the results of the program (the created boundary conditions file) are adapted for use in the Ansys software package and are used in evaluating the thermal stress state of turbine elements, designing and calculating the resource for extension of the service life. Experience of use showed a significant reduction in time and effort to determine the boundary conditions, reducing the probability of numerical errors.*

**Keywords:** *steam turbine, thermal stress state, temperature field, rotor, turbine, thermal calculation, heat transfer coefficient*

## BIBLIOGRAPHY

1. Safonov, L.P. Raschet temperaturnykh poley rotorov i korpusov parovykh turbin: rukovodyashchiy tekhnicheskii material / L.P. Safonov, A.N. Kovalenko, K.P. Seleznev. – L.: NPO TSKTI, 1985.
2. Seleznev, K.P. Teplovoe sostoyaniye rotorov i tsilindrov parovykh i gazovykh turbin / K.P. Seleznev. – М. –L.: Mashinostroveniyе, 1964.
3. Rivkin, S.V. Termodinamicheskiye svoystva vody i vodyanogo para: spravochnik / S.V. Rivkin, A.A. Aleksandrov. – М.: Energoatomizdat, 1984.
4. IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam. International Association for the Properties of Water and Steam / Executive Secretary R.B. Dooley. Electric Power Research Institute. Palo Alto. CA 94304, USA.
5. Trubilov, M.A. Parovyie i gazovyie turbiny / M.A. Trubilov, G.V. Arsenyev, V.V. Frolov. – М.: Energoatomizdat, 1985.
6. Georgiyevskaya, Ye.V. Sovremennyye podkhody k raschetu termonapryazhennogo sostoyaniya parovykh turbin / Ye.V. Georgiyevskaya, YU.A. Gorskiy // Novoye v rossiyskoy energetike. – 2015. – № 11. – S.12–22.

### Gorskiy Yuriy Aleksandrovich

ОАО «Научно–производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова», 191167, Россия, Санкт–Петербург, Атаманская ул., д. 3/6.  
Инженер 3–й категории, Отдел прочности и ресурса энергооборудования  
E–mail: iurii.gorskii@gmail.com

УДК 621.983; 539.374

М.В. ГРЯЗЕВ, С.Н. ЛАРИН

## ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РАЗДАЧИ ТРУБЫ КОНИЧЕСКИМ ПУАНСОНОМ

**Аннотация.** Наиболее применяемым методом производства различных форм, в основном цилиндрических и круглых в плане является штамповка, и, в частности раздача и обжим. Однако теоретические исследования посвященные раздаче весьма немногочисленны. В связи с этим важной задачей стоит теоретическое исследование раздачи тонкостенных заготовок, которое учитывало бы механические свойства исходного материала. В статье представлена разработанная математическая модель раздачи трубной заготовки коническим пуансоном. В основу расчетов положен метод расчета параметров процесса, основанный на совместном решении приближенных дифференциальных уравнений равновесия и условия текучести. Получены выражения для определения напряженного и деформированного состояний заготовки процесса раздачи трубных заготовок.

**Ключевые слова:** раздача, матрица, деформирование, напряжения, деформации.

Работа выполнена в рамках грантов РФФИ № 16-48-710014 и гранта администрации Тульской области.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сторожев, М.В. Теория обработки металлов давлением / М.В. Сторожев, Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.
2. Яковлев, С.П. Обработка давлением анизотропных материалов / С.П. Яковлев, С.С. Яковлев, В.А. Андрейченко. – Кишинев: Квант. 1997. – 331 с.
3. Нечепуренко, Ю.Г. Глубокая вытяжка цилиндрических изделий из анизотропного материала / Ю.Г. Нечепуренко, С.П. Яковлев, С.С. Яковлев. Тула: ТулГУ, 2000. – 195 с.
4. Попов, Е.А. Основы теории листовой штамповки / Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 278 с.

**Грязев Михаил Васильевич**

Тульский государственный университет, г. Тула  
д-р техн. наук, ректор  
E-mail: mpf-tula@rambler.ru

**Ларин Сергей Николаевич**

Тульский государственный университет, г. Тула  
д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Механика  
пластического формоизменения»  
E-mail: mpf-tula@rambler.ru

---

M.V. GRYAZEV, S.N. LARIN

## APPROACH TO DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF PIPE DISTRIBUTION WITH A TAPE PUNCH

**Abstract.** The most commonly used method of manufacturing various shapes, mostly cylindrical and round in plan, is stamping, and in particular, crushing and crimping. However, the theoretical studies devoted to distribution are very few. An important task with this important task is the theoretical investigation of the distribution of thin-walled blanks, which takes into account the mechanical properties of the starting material. The article presents the developed mathematical model of the distribution of pipe billet conical punch. The calculation is based on a method for calculating process parameters, based on a joint solution of approximate differential equilibrium equations and the yield conditions. Expressions are obtained for determining the strained and deformed states of the preform of the process of distributing pipe billets

**Keywords:** distribution, matrix, deformation, stresses, deformations.

## BIBLIOGRAPHY

1. Storozhev, M.V. Teoriya obrabotki metallov davleniyem / M.V. Storozhev, Ye.A. Popov. – M.: Mashinostroyeniye, 1977. – 423 s.
2. Yakovlev, S.P. Obrabotka davleniyem anizotropnykh materialov / S.P. Yakovlev, S.S. Yakovlev, V.A. Andreychenko. – Kishinev: Kvant. 1997. – 331 s.
3. Nepochurenko, YU.G. Glubokaya vytyazhka tsilindricheskikh izdeliy iz anizotropnogo materiala / YU.G. Nepochurenko, S.P. Yakovlev, S.S. Yakovlev. Tula: TulGU, 2000. – 195 s.
4. Popov, Ye.A. Osnovy teorii listovoy shtampovki / Ye.A. Popov. – M.: Mashino-stroyeniye, 1977. – 278 s.

**Gryazev Mihail Vasilevich**

Tulskiy gosudarstvenniy universitet, g. Tula  
d-r tehn. nauk, rektor  
E-mail: mpf-tula@rambler.ru

**Larin Sergey Nikolaevich**

Tulskiy gosudarstvenniy universitet, g. Tula  
d-r tehn. nauk, zaveduyuschiy kafedroy «Mehаниka  
plasticheskogo formoizmeneniya»

УДК 629.12

К.А. КОВАЛЬ, А.Л. СУХОРУКОВ

## ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФОРМАЛИЗМА ВИТТЕНБУРГА В ЗАДАЧЕ РАСЧЕТА ДИНАМИКИ СОСТАВНОГО ПЛАВНИКОВОГО ДВИЖИТЕЛЯ

**Аннотация.** На основе численных методов динамики вязкой жидкости определены гидродинамические характеристики машущего крыла – основного конструктивного элемента составного плавникового движителя. Проведено сопоставление результатов численного расчета с соответствующими аналитическими решениями и экспериментальными данными с целью верификации расчетной модели и последующего анализа плавниковых движителей более сложной конструкции. Предложенные вычислительные подходы могут применяться при проектировании пропульсивных систем, в состав которых входит машущее крыло.

**Ключевые слова:** гидродинамические характеристики, машущее крыло, плавниковый движитель, система крыльев, формализм Виттенбурга.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слижевский, Н.Б. Гидробионика в судостроении / Н.Б. Слижевский. – Николаев: Изд-во УГМТУ, 2002. – 112 с.
2. Козлов, Л.Ф. Теоретическая био-гидродинамика / Л.Ф. Козлов. – Киев: «Вища школа», 1983. – 240 с.
3. Козлов, Л.Ф. Очерки по гидробионике / Л.Ф. Козлов. – Киев: Науковадумка, 1985. – 110 с.
4. Robotic Visions to 2020 and beyond – The Strategic Research Agenda for robotics in Europe, 07/2009. <http://www.roboticsplatform.eu>.
5. Виттенбург, Й. Динамика систем твердых тел / Й. Виттенбург. – М.: Мир, 1980. – 294 с.
6. Яковенко, В.В. О распределении давления по поверхности профиля, гармонически колеблющегося в поступательном потоке / В.В. Яковенко // Труды Ленинградского политехнического института. – 1953. № 5.
7. Фын, Я.Ц. Введение в теорию аэроупругости / Я.Ц. Фын. – М.: Физматлит, 1959. – 524 с.
8. Бисплингхофф, Р.Л. Аэроупругость / Р.Л. Бисплингхофф, Х. Эшли, Р.Л. Халфмэн. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1958. – 799 с.

**Коваль Кирилл Алексеевич**  
АО «ЦКБ МТ «Рубин», г. Санкт-Петербург  
Инженер 2 категории  
E-mail: koval.kir2014@yandex.ru

**Сухоруков Андрей Львович**  
АО «ЦКБ МТ «Рубин», г. Санкт-Петербург  
Доктор технических наук, заместитель начальника  
отдела  
E-mail: su\_andr@yahoo.com

---

К.А. KOVAL, A.L. SUKHORUKOV

## THE USE OF THE FORMALISM OF WITTENBURG IN THE PROBLEM OF THE DYNAMICS A COMPOSITE SLEEVE MOVERNER

**Abstract.** Hydrodynamic characteristics of flapping wing are calculated by methods based on CFD in this work. The comparison of CFD-simulation with analytics and experimental data is performed to provide verification of current method and further analysis of fin propellers. Introduced numerical approaches can be used in design of perspective propulsive systems based on flapping wings.

**Keywords:** hydrodynamic characteristics, flapping wing, fin propeller, system of wings, Vittenburg formalism.

### BIBLIOGRAPHY

1. Slizhevskiy, N.B. Gidrobionika v sudostroyenii / N.B. Slizhevskiy. – Nikolayev: Izd-vo UGMTU, 2002. – 112 s.
2. Kozlov, L.F. Teoreticheskayabio-gidrodinamika / L.F. Kozlov. – Kiyev: «Vishcha shkola», 1983. – 240 s.
3. Kozlov, L.F. Ocherki po gidrobionike / L.F. Kozlov. – Kiyev: Naukovadumka, 1985. – 110 s.
4. Robotic Visions to 2020 and beyond – The Strategic Research Agenda for robotics in Europe, 07/2009. <http://www.roboticsplatform.eu>.
5. Vittenburg, Y. Dinamika sistem tverdykh tel / Y. Vittenburg. – M.: Mir, 1980. – 294 s.

6. Yakovenko, V.V. O raspredelenii davleniya po poverkhnosti profilya, garmonicheski koleblyushchegosya v postupatelnom potoke / V.V. Yakovenko // Trudy Leningradskogo politekhnicheskogo instituta. – 1953. № 5.
7. Fyn, YA.TS. Vvedeniye v teoriyu aerouprugosti / YA.TS. Fyn. – M.: Fizmatlit, 1959. – 524 s.
8. Bisplingkhoff, R.L. Aerouprugost / R.L. Bisplingkhoff, KH. Eshli, R.L. Khalfmen. – M.: Izd-vo inostrannoy literatury, 1958. – 799 s.

**Koval Kirill Alekseevich**  
АО «ТсКВ МТ «Рубин», г. Санкт–Петербург  
Inzhener 2 kategorii  
E-mail: koval.kir2014@yandex.ru

**Suhorukov Andrey Lvovich**  
АО «ТсКВ МТ «Рубин», г. Санкт–Петербург  
Doktor tehnicheskikh nauk, zamestitel nachalnika otdela  
E-mail: su\_andr@yahoo.com

УДК 631.3.06 + 621.01

Е.С. ЛЮМИНАРСКАЯ, И.Е. ЛЮМИНАРСКИЙ

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕДВЕСТНИКОВ ОТКАЗОВ В МИКРОПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯХ СТЕРЖНЕВОГО ТИПА

**Аннотация.** *Необходимость повышения надежности радиоэлектронной аппаратуры требует применения новых подходов по исключению и предотвращению отказов. Одним из способов повышения надежности является своевременное обнаружение предвестников отказов в работе технических систем. Отказы и сбойные состояния в микропереключателях появляются в основном из-за попадания в межконтактное пространство пыли и др. загрязнений, образования пленок, неразрушающихся при замыкании контактов, поломки упругого элемента или распорной пружины. Выявление предвестников отказов на этапе проектирования позволит при эксплуатации микропереключателей повысить надежность их работы. В статье предложена динамическая модель микропереключателей с упругими стержневыми элементами, позволяющая исследовать их работу в условиях запыленности контактов. Расчетным путем выявлены предвестники отказов стержневых микропереключателей из-за попадания частиц пыли на контакты.*

**Ключевые слова:** *электрический контакт, переходное сопротивление, микропереключатель, дребезг, предвестник отказа.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Люминарская, Е.С. Динамическая модель микропереключателей с упругими стержневыми элементами / Е.С. Люминарская, И.Е. Люминарский // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 4 – С. 35–42.
2. Люминарская, Е.С. Математическая модель слаботочных электрических контактов при сбое / Е.С. Люминарская, В.Н. Дианов // Динамика сложных систем – XXI век. – 2014. – Т. 8. – № 1. – С. 73–78.
3. Демкин, Н.Б. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей / Н.Б. Демкин. – М.: Наука, 1970. – 227 с.
4. Измайлов, В.В. Контакт твердых тел и его проводимость: монография/ В.В. Измайлов, М.В. Новоселова. – Тверь: ТГТУ, 2010. – 112 с.
5. Андреев, И.Е. Разработка и исследование аналитических и имитационных моделей контактных коммутационных систем / И.Е. Андреев // Дис... к-та техн. наук. – Харьков, 1984. – 222 с.
6. Горбунов, Н.А. Динамическая фрагментация твердых частиц при взаимодействии с жесткой преградой / Н.А. Горбунов, Ю.В. Петров // Журнал технической физики. – 2014. – том 84. – вып. 2. – С. 39–43.
7. Лурье, А.И. Пространственные задачи теории упругости / А.И.Лурье. – М.: Гос. издательство. тех. – теор. лит., 1955. – 492 с.
8. Левин, А.П. Контакты электрических соединителей радиоэлектронной аппаратуры / А.П. Левин. – М.: Сов.радио, 1972. – 216 с.
9. Вибрация в технике: Справочник: В 6-ти т. / под ред. В.В. Болотина – М.: Машиностроение, 1978. – Т. 1. Колебания линейных систем. – 352 с.
10. Люминарский, И.Е. Расчет упругих систем с односторонними связями: монография/ И.Е. Люминарский. – М.: МГИУ, 2006. – 308 с.

**Люминарская Екатерина Станиславовна**  
МГТУ им. Н.Э.Баумана, г.Москва.  
Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Электротехника и промышленная электроника».  
Тел. 8–905–508–92–14  
E-mail: lyuminarskaja.caterina@yandex.ru

**Люминарский Игорь Евгеньевич**  
МГТУ им. Н.Э.Баумана, г.Москва.  
Доктор технических наук, профессор кафедры  
«Теория механизмов и машин».  
Тел. 8–985–988–42–92  
E-mail: lie260@mail.ru

---

Е.С. LYUMINARSKAYA, И.Е. LYUMINARSKIY

## THEORETICAL STUDY OF PRECURSORS OF FAILURE IN THE SWITCH ROD TYPE



**Abstract.** *The need to improve the reliability of electronic devices requires new approaches for the elimination and prevention of failures. One way of increasing reliability is early detection of precursors of failures of technical systems. Failures and failure state switches appear mainly due to contact with the contact space dust and other contaminants, the formation of films, indestructible when contacts, breakage of the elastic element or spacer springs. Identification of precursors of failure at the design stage will allow for the operation of the switches to increase the reliability of their work. The paper proposed the dynamic model of the switches with elastic rod elements, which allow you to explore their work in dusty conditions contacts. Calculation revealed the harbingers of the failure of the core switches due to the ingress of dust particles on the contacts.*

**Keywords:** *electrical contact, contact resistance, microswitch, chattering, a harbinger of failure.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Lyuminarskaya, Ye.S. Dinamicheskaya model mikropereklyuchateley s uprugimi sterzhnevymi elementami / Ye.S. Lyuminarskaya, I.Ye. Lyuminarskiy // Nadezhnost i kachestvo slozhnykh sistem. – 2016. – № 4 – S. 35–42.
2. Lyuminarskaya, Ye.S. Matematicheskaya model slabotochnykh elektricheskikh kontaktov pri sboye / Ye.S. Lyuminarskaya, V.N. Dianov // Dinamika slozhnykh sistem – KHKH vek. – 2014. – T. 8. – № 1. – С. 73–78.
3. Demkin, N.B. Kontaktirovaniye sherokhovatykh poverkhnostey / N.B. Demkin. – M.: Nauka, 1970. – 227 s.
4. Izmaylov, V.V. Kontakt tverdykh tel i yego provodimost: monografiya/ V.V. Izmaylov, M.V. Novoselova. – Tver: TGTU, 2010. –112 s.
5. Andreyev, I.Ye. Razrabotka i issledovaniye analiticheskikh i imitatsionnykh modeley kontaktnykh kommutatsionnykh sistem / I.Ye. Andreyev // Dis... k–ta tekhn. nauk. – Kharkov, 1984. – 222 s.
6. Gorbunov, H.A. Dinamicheskaya fragmentatsiya tverdykh chastits pri vzaimodeystvii s zhestkoy pregradoy / H.A. Gorbunov, YU.V. Petrov // Zhurnal tekhnicheskoy fiziki. – 2014. – tom 84. – vyp. 2. – S. 39–43.
7. Lurye, A.I. Prostranstvennyye zadachi teorii uprugosti / A.I.Lurye. – M.: Gos. izdatelstvo. tekhn.–teor. lit., 1955. – 492 s.
8. Levin, A.P. Kontakty elektricheskikh soyediniteley radioelektronnoy apparatury / A.P. Levin. – M.: Sov.radio, 1972. – 216 s.
9. Vibratsiya v tekhnike: Spravochnik: V 6–ti t. / pod red. V.V. Bolotina – M.: Mashinostroyeniye, 1978. – T. 1. Kolebaniya lineynykh sistem. – 352 s.
10. Lyuminarskiy, I.Ye. Raschet uprugikh sistem s odnostoronnimi svyazyami: monografiya / I.Ye. Lyuminarskiy. – M.: MGIU, 2006. –308 s.

**Lyuminarskaja Ekaterina Stanislavovna**  
Bauman Moscow State Technical University, Moscow.  
Candidate of technical Sciences, docent of the Department  
«Electrical engineering and industrial electronics».  
Ph. 8–905–508–92–14  
E–mail: lyuminarskaja.caterina@yandex.ru

**Lyuminarskiy Igor Evgenevich**  
Bauman Moscow State Technical University, Moscow.  
Doctor of technical Sciences, Professor of the Department  
«Theory of mechanisms and machines».  
Ph. 8–985–988–42–92  
E–mail: lie260@mail.ru

УДК 617.582

В.И. ПАХАЛЮК

## РАСШИРЕНИЕ УСЛОВИЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗНОСА В СФЕРИЧЕСКОМ ШАРНИРЕ С ПОЛИМЕРНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ ТОТАЛЬНОГО ЭНДОПРОТЕЗА ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА

**Аннотация.** *Модифицирована и расширена существующая модель износа, основанная на классическом уравнении Арчарда, в сферическом соединении тотального эндопротеза тазобедренного сустава, содержащего вертлужную чашку из полиэтилена сверхвысокого молекулярного веса (СВМПЭ) в сочетании с металлической или керамической головкой бедренной кости. С помощью этой модели проводятся исследования с использованием конечно–элементного анализа с точки зрения накопленного линейного и объемного износа согласно требованиям стандарта ISO 14242–1 и дополнительно для условий, возникающих при ходьбе. Исследования также выполняются для диаметра головки 28 мм при постоянном и переменном коэффициенте износа, где переменный коэффициент износа принимается из модифицированной формулы для его зависимости от контактного давления.*

**Ключевые слова:** *тотальный эндопротез тазобедренного сустава, износ, конечно–элементное моделирование, сферический сустав*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ingham, E. Biological reactions to wear debris in total joint replacement / E. Ingham, J. Fisher // Proc. Instn Mech. Engrs, Part H: J. Engineering in Medicine. – 2000. – Vol. 214(1). – P.21–37.

2. Polyakov, A. System analysis and synthesis of total hip joint endoprosthesis / A. Polyakov, V. Pakhaliuk, M. Kalinin et al. // *Procedia Engineering*. – 2015. – Vol. 100. – P. 530–538.
3. Polyakov, O.M. Stand and control system for wear testing of the spherical joints of vehicle suspension at complex loading conditions / O.M. Polyakov, V.I. Pakhaliuk, V.B. Lazarev et al. // *IFAC Proceedings Volumes*. – 2013. – Vol. 46(25). – P.106–111.
4. Пахалюк, В.И. Нормирование параметров частично–регулярного микрорельефа на поверхности головки тотального эндопротеза тазобедренного сустава / В.И. Пахалюк, А.М. Поляков, М.И. Калинин // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2015. – №5 (313). – С. 114–129.
5. Pakhaliuk, V.I. Improving the finite element simulation of wear of total hip prosthesis spherical joint with the polymeric component / V.I. Pakhaliuk, A.M. Polyakov, M.I. Kalinin, V.A. Kramar // *Procedia Engineering*. – 2015. – Vol. 100. – P. 538–548.
6. Maxian, T.A. A sliding–distance–coupled finite element formulation for polyethylene wear in total hip arthroplasty / T.A. Maxian, T.D. Brown, D.R. Pedersen, J.J. Callaghan // *J. Biomech*. – 1996. – Vol. 27. – P.687–692.
7. Kang, L. A simple fully integrated contact–coupled wear prediction for ultra–high weight polyethylene hip implants / L. Kang, A.I. Galvin, Z.M. Zin, J. Fisher // *Proc Instn Mech Engrs, Part H: J Engineering in Medicine*. – 2006. – Vol. 220(1). – P.35–46.
8. Wu, J.S.S. The computer simulation of wear behavior appearing in total hip prosthesis / J.S.S. Wu, J.P. Hung, C.S. Shu, J.H. Chen // *Computer Meth. and Programs in Biomedicine*. – 2003. – Vol. 70(1). – P.81–91.
9. Wang, A. Effect of contact stress on friction and wear of ultra–high molecular weight polyethylene in total hip replacement / A. Wang, A. Essner, R. Klein // *Proc Instn Mech Engrs, Part H: J Engineering in Medicine*. – 2001. – Vol. 215(2). – P. 133–139.
10. Vassiliou, K. Is the wear factor in total joint replacements dependent on the nominal contact stress in ultra–high molecular weight polyethylene contacts? / K. Vassiliou, A. Unsworth // *Proc. Instn Mech. Engrs, Part H: J. Engineering in Medicine*. – 2001. – Vol. 218(2). – P.101–107.
11. Saikko, V. Effect of contact pressure on wear and friction of ultra–high molecular weight polyethylene in multidirectional sliding / *Proc. Instn Mech. Engrs, Part H: J. Engineering in Medicine*. – 2006. – Vol. 220(7). – P.723–731.

**Пахалюк Владимир Иванович**

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Техническая механика и машиноведение»

ул. Университетская 33, г. Севастополь, 299053

Тел. 8 (692) 435–161

E– mail: pahaluk@sevsu.ru

---

V.I. PAKHALIUK

## EXPANDING THE SIMULATION OF WEAR IN A SPHERICAL JOINT WITH POLYMERIC ELEMENT OF A TOTAL HIP ARTHROPLASTY

**Abstract.** *The existing model of wear, based on the classical Archard equation, in the spherical joint of total hip prosthesis comprising an acetabular cup of ultra–high molecular weight polyethylene (UHMWPE) in combination with a metal or ceramic femoral head is modified and expanded. With this model, studies are conducted using the finite element analysis in terms of cumulative linear and volumetric wear for the ISO 14242–1 demands and additionally for the conditions during walking gait. Also they are carried out for a head diameter of 28 mm at a constant and variable wear factor, where the variable wear factor is adopted from the modified formula for the dependence on the contact pressure.*

**Keywords:** *total hip arthroplasty, wear, finite element simulation, spherical joint.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Ingham, E. Biological reactions to wear debris in total joint replacement / E. Ingham, J. Fisher // *Proc. Instn Mech. Engrs, Part H: J. Engineering in Medicine*. – 2000. – Vol. 214(1). – P.21–37.
2. Polyakov, A. System analysis and synthesis of total hip joint endoprosthesis / A. Polyakov, V. Pakhaliuk, M. Kalinin et al. // *Procedia Engineering*. – 2015. – Vol. 100. – P. 530–538.
3. Polyakov, O.M. Stand and control system for wear testing of the spherical joints of vehicle suspension at complex loading conditions / O.M. Polyakov, V.I. Pakhaliuk, V.B. Lazarev et al. // *IFAC Proceedings Volumes*. – 2013. – Vol. 46(25). – P.106–111.
4. Pakhaliuk, V.I. Normirovaniye parametrov chastichno–regulyarnogo mikrorelyefa na poverkhnosti golovki totalnogo endoproteza tazobedrennogo sustava / V.I. Pakhaliuk, A.M. Polyakov, M.I. Kalinin // *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. – 2015. – №5 (313). – S. 114–129.

5. Pakhaliuk, V.I. Improving the finite element simulation of wear of total hip prosthesis spherical joint with the polymeric component / V.I. Pakhaliuk, A.M. Polyakov, M.I. Kalinin, V.A. Kramar // *Procedia Engineering*. – 2015. – Vol. 100. – P. 538–548.
6. Maxian, T.A. A sliding–distance–coupled finite element formulation for polyethylene wear in total hip arthroplasty / T.A. Maxian, T.D. Brown, D.R. Pedersen, J.J. Callaghan // *J. Biomech.* – 1996. – Vol. 27. – P.687–692.
7. Kang, L. A simple fully integrated contact–coupled wear prediction for ultra–high weight polyethylene hip implants / L. Kang, A.I. Galvin, Z.M. Zin, J. Fisher // *Proc Instn Mech Engrs, Part H: J Engineering in Medicine*. – 2006. – Vol. 220(1). – P.35–46.
8. Wu, J.S.S. The computer simulation of wear behavior appearing in total hip prosthesis / J.S.S. Wu, J.P. Hung, C.S. Shu, J.H. Chen // *Computer Meth. and Programs in Biomedicine*. – 2003. – Vol. 70(1). – P.81–91.
9. Wang, A. Effect of contact stress on friction and wear of ultra–high molecular weight polyethylene in total hip replacement / A. Wang, A. Essner, R. Klein // *Proc Instn Mech Engrs, Part H: J Engineering in Medicine*. – 2001. – Vol. 215(2). – P. 133–139.
10. Vassiliou, K. Is the wear factor in total joint replacements dependent on the nominal contact stress in ultra–high molecular weight polyethylene contacts? / K. Vassiliou, A. Unsworth // *Proc. Instn Mech. Engrs, Part H: J. Engineering in Medicine*. – 2001. – Vol. 218(2). – P.101–107.
11. Saikko, V. Effect of contact pressure on wear and friction of ultra–high molecular weight polyethylene in multidirectional sliding / *Proc. Instn Mech. Engrs, Part H: J. Engineering in Medicine*. – 2006. – Vol. 220(7). – P.723–731.

**Pakhaliuk Vladimir Ivanovich**

FSAEI HE «Sevastopol State University»

Ph.D., Associate Professor, Head of Engineering Mechanics and Machinery Department

Universitetskaya Str. 33, Sevastopol, 299053

Ph. 8 (692) 435–161

E– mail: pahaluk@sevsu.ru

УДК 534.01

А.А. ПОЖАЛОСТИН, А.В. ПАНШИНА

## АВТОКОЛЕБАНИЯ ОДНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С СУХИМ ТРЕНИЕМ

**Аннотация.** Показана возможность существования автоколебательного резонанса в механической системе с сухим трением. Механизм состоит из двух одинаковых валов, вращающихся равномерно в противоположные стороны. На валах лежит однородный жесткий стержень. Рассмотрены два случая сухого трения между валами и стержнем: коэффициент трения постоянен и коэффициент трения нелинейно зависит от скорости скольжения элементов механизма. Составлены дифференциальные уравнения движения, выписаны решения. Для второго случая аналитически приближенно получена зависимость амплитуды колебаний системы от времени, получена амплитуда автоколебаний. Результаты работы показывают, что нельзя пренебрегать возможностью появления фрикционных автоколебаний в механических системах.

**Ключевые слова:** колебания, сухое трение, автоколебательный резонанс, амплитуда автоколебаний.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андронов, А.А. Теория колебаний / А.А. Андронов, А.А. Витт, С.Э. Хайкин. – М.: Наука, 1981. – 568 с.
2. Стрелков, С.П. Введение в теорию колебаний / С.П. Стрелков. – СПб: Лань, 2005. – 438 с.
3. Лампер, Р.Е. Введение в теорию нелинейных колебаний авиаконструкций / Р.Е. Лампер. – М.: Машиностроение, 1985. – 88 с.
4. Мухин, А.Д. Построение областей устойчивости ракет–носителей в пространстве параметров компоновки / А.Д. Мухин, А.Н. Темнов // *Вестник МГТУ им Н.Э.Баумана. Серия Машиностроение*. – 2010. – № 4.
5. Шкапов, П.М. О гистерезисном характере развития автоколебаний в гидрوليнии с ограниченной искусственной газовой каверной на выходе / П.М. Шкапов, И.Г. Благовещенский, Е.Б. Гартиг // *Наука и образование: электронное научно–техническое издание*. – 2013. – № 10.
6. Андронов, В.В. Сухое трение в задачах механики / В.В. Андронов, В.Ф. Журавлев. – М.: URSS, 2010. – 184 с.
7. Журавлев, В.Ф. Новая модель шимми / В.Ф. Журавлев, Д.М. Климов, П.К. Плотников // *Известия РАН. Механика твердого тела*. – 2013. – № 5.
8. Бидерман, В.Л. Теория механических колебаний / В.Л. Бидерман. – 2–е изд. – М.: URSS, 2009. – 408 с.
9. Пожалостин, А.А. Автоколебания в одномерных упругих системах с трением / А.А. Пожалостин, А.В. Паншина // *Известия МГТУ «МАМИ». Серия Естественные науки*. – 2014. – № 4 (22). – Т. 4.
10. Пожалостин, А.А. Колебания систем с дискретным числом степеней свободы с сухим трением / А.А. Пожалостин, А.В. Паншина, В.В. Кокушкин // *Известия МГТУ «МАМИ». Серия Естественные науки*. – 2015. – № 1 (23). – Т. 4.

**Пожалостин Алексей Алексеевич**

Московский Государственный Технический  
Университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва  
доктор технических наук, профессор кафедры  
теоретической механики им. профессора Н.Е.  
Жуковского  
E-mail: a.pozhalostin@mail.ru

**Паншина Алла Викторовна**

Московский Государственный Технический  
Университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва  
кандидат физико-математических наук, доцент  
кафедры теоретической механики им. профессора Н.Е.  
Жуковского  
E-mail: panalv@mail.ru

A.A. POZHALOSTIN, A.V. PANSHINA

**AUTO-OSCILLATION OF ONE MECHANICAL SYSTEM  
WITH DRY FRICTION**

**Abstract.** *The possibility of the existence of auto-oscillating resonance in a mechanical system with dry friction is shown in this paper. The mechanism consists of two identical shafts that evenly rotate in opposite directions. A homogeneous rigid rod lies on the shafts. Two cases of dry friction between the shafts and the rod are considered: the coefficient of friction is constant and the nonlinear coefficient of friction depends on the sliding speed of the elements of the mechanism. Differential equations of motion is composed, solutions have been obtained. For the second case the time dependence of the amplitude of oscillations of the system was obtained analytically approximated. Also the amplitude of auto-oscillations was obtained. The results show that it is impossible to neglect the possibility of frictional auto-oscillations in mechanical systems.*

**Keywords:** *oscillations, dry friction, auto-oscillating resonance, amplitude of auto-oscillations.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Andronov, A.A. Teoriya kolebaniy / A.A. Andronov, A.A. Vitt, S.E. Khaykin. – M.: Nauka, 1981. – 568 s.
2. Strelkov, S.P. Vvedeniye v teoriyu kolebaniy / S.P. Strelkov. – SPb: Lan, 2005. – 438 s.
3. Lamper, R.Ye. Vvedeniye v teoriyu nelineynykh kolebaniy aviakonstruktsiy / R.Ye. Lamper. – M.: Mashinostroyeniye, 1985. – 88 s.
4. Mukhin, A.D. Postroyeniye oblastey ustoychivosti raket-nositeley v prostranstve parametrov komponovki / A.D. Mukhin, A.N. Temnov // Vestnik MGTU im N.E.Baumana. Seriya Mashinostroyeniye. – 2010. – № 4.
5. Shkapov, P.M. O gisterезisnom kharaktere razvitiya avtokolebaniy v gidrolinii s ogranichenov iskusstvennoy gazovoy kavernoy na vykhode / P.M. Shkapov, I.G. Blagoveshchenskiy, Ye.B. Gartig // Nauka i obrazovaniye: elektronnoye nauchno-tekhnicheskoye izdaniye. – 2013. – № 10.
6. Andronov, V.V. Sukhoye treniye v zadachakh mekhaniki / V.V. Andronov, V.F. Zhuravlev. – M.: URSS, 2010. – 184 s.
7. Zhuravlev, V.F. Novaya model shimmi / V.F. Zhuravlev, D.M. Klimov, P.K. Plotnikov // Izvestiya RAN. Mekhanika tverdogo tela. – 2013. – № 5.
8. Biderman, V.L. Teoriya mekhanicheskikh kolebaniy / V.L. Biderman. – 2-ye izd. – M.: URSS, 2009. – 408 s.
9. Pozhalostin, A.A. Avtokolebaniva v odnomernykh uprugikh sistemakh s trenivem / A.A. Pozhalostin, A.V. Panshina // Izvestiya MGTU «MAMI». Seriya Yestestvennyye nauki». – 2014. – № 4 (22). – T. 4.
10. Pozhalostin, A.A. Kolebaniva sistem s diskretnym chislom stepenev svobody s sukhim trenivem / A.A. Pozhalostin, A.V. Panshina, V.V. Kokushkin // Izvestiya MGTU «MAMI». Seriya Yestestvennyye nauki. – 2015. – № 1 (23). – T. 4.

**Pozhalostin Aleksey Alekseyevich**

Moscow State Technical University. N.E. Bauman,  
Moscow  
Doctor of Technical Sciences, Professor of the  
Department of Theoretical Mechanics. Professor N.E.  
Zhukovsky  
E-mail: a.pozhalostin@mail.ru

**Panshina Alla Viktorovna**

Moscow State Technical University. N.E. Bauman,  
Moscow  
Candidate of Physical and Mathematical Sciences,  
Associate Professor of the Department of Theoretical  
Mechanics named after Professor N.E. Zhukovsky  
E-mail: panalv@mail.ru

УДК 517.972.7

А.М. ПОЛЯКОВ, М.А. КОЛЕСОВА, П.К. ШТАНЬКО

**ВЕЩЕСТВЕННЫЕ ФУНКЦИИ,  
ФУНКЦИОНАЛЫ И ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ**

**Аннотация.** *Законы сохранения связаны с симметриями в природе. В связи с этим можно предполагать, что всякий природный процесс протекает в соответствии с определенным законом сохранения. Т.е., если известна какая-либо функция, описывающая процесс, то в ней содержится определенный закон сохранения. Такая функция может быть получена, в том числе, в результате экспериментальных исследований, а по соответствующему ей лагранжиану можно выявить закон сохранения, в соответствии с которым этот процесс протекает. Глобальная цель исследования, в рамках которого решаются задачи,*

поставленные в этой статье, состоит в выявлении законов сохранения, определяющих характерные движения систем с избыточным числом степеней свободы, если они существуют. В этой статье показано, что для каждой вещественной функции легко находится лагранжиан, в котором содержатся симметрии и, следовательно, соответствующие им законы сохранения.

**Ключевые слова:** функция, обыкновенное дифференциальное уравнение, лагранжиан, функционал, закон сохранения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kosmann–Schwarzbach, Y. The Noether Theorems. Invariance and Conservation Laws in the Twentieth Century / Y. Kosmann–Schwarzbach. – New York: Springer, 2011. – 204 p.
2. Бернштейн, Н.А. О построении движений / Н.А. Бернштейн. – М.: Книга по Требованию, 2012. – 253 с.
3. Lopuszanski, J. The Inverse Variational Problem in Classical Mechanics / J. Lopuszanski. – Singapore: World Scientific Publishing Company, 2009. – 221 p.
4. Нуччи, М.К. Как искать (и находить) лагранжианы / М.К. Нуччи // Теоретическая и математическая физика. – 2009. – Том 160. – № 1. – С.168–177.
5. Нуччи, М.К. Последний множитель Якоби, симметрии Ли и скрытая линейность: изобилие «золотых рыбок» / М.К. Нуччи // Теоретическая и математическая физика. – 2007. – Том 151. – № 3. – С.495–509.

**Поляков Александр Михайлович**  
ФГАОУ ВО «Севастопольский  
государственный университет»;  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Машиноведение и  
техническая механика»;  
ул. А. Косарева, 14а, г. Севастополь,  
Россия;  
Тел.: +7 978 703 88 26  
E-mail: a.m.poljakov@sevsu.ru

**Колесова Марина Александровна**  
ФГАОУ ВО «Севастопольский  
государственный университет»;  
преподаватель кафедры «Высшая  
математика»;  
ул. А. Кесаева, 7/3, г. Севастополь,  
Россия;  
Тел.: +7 978 045 69 82  
E-mail: marishaclass@mail.ru

**Штанько Петр Константинович**  
Запорожский национальный  
технический университет;  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Механика»;  
ул. Жуковского, 64, г. Запорожье,  
Украина;  
Тел.: +38 066 223 93 56  
E-mail: mech@zntu.edu.ua

---

A.M. POLIAKOV, M.A. KOLESOVA, P.K. SHTANKO

## REAL FUNCTIONS, FUNCTIONALS AND CONSERVATION LAWS

**Abstract.** Conservation laws are associated with symmetries in nature. In this connection, it can be assumed that every natural process proceeds in accordance with a definite conservation law. That is, if any function describing the process is known, then it contains a certain conservation law. Such function can be obtained, among other things, as a result of experimental studies, and according to the corresponding to it Lagrangian it is possible to find the conservation law, according to which this process proceeds. The global goal of the study, in which frame solved problems posed in this article, consists in revealing the conservation laws that determine characteristic motions of systems with an excessive number of degrees of freedom, if they exist. In this paper it is shown that for each real function it is easy to find a Lagrangian in which are contained symmetries and, consequently, the conservation laws corresponding to them.

**Keywords:** function, ordinary differential equation, Lagrangian, functional, conservation law.

## BIBLIOGRAPHY

1. Kosmann–Schwarzbach, Y. The Noether Theorems. Invariance and Conservation Laws in the Twentieth Century / Y. Kosmann–Schwarzbach. – New York: Springer, 2011. – 204 p.
2. Bernshteyn, N.A. O postroyenii dvizheniy / N.A. Bernshteyn. – M.: Kniga po Trebovaniyu, 2012. – 253 s.
3. Lopuszanski, J. The Inverse Variational Problem in Classical Mechanics / J. Lopuszanski. – Singapore: World Scientific Publishing Company, 2009. – 221 p.
4. Nuchchi, M.K. Kak iskat (i nakhodit) lagranzhiany / M.K. Nuchchi // Teoreticheskaya i matematicheskaya fizika. – 2009. – Tom 160. – № 1. – S.168–177.
5. Nuchchi, M.K. Posledniy mnozhitel Yakobi, simmetrii Li i skrytaya lineynost: izobiliye «zolotykh rybok» / M.K. Nuchchi // Teoreticheskaya i matematicheskaya fizika. – 2007. – Tom 151. – № 3. – S.495–509.

**Polyakov Alexander Mikhailovich**  
Sevastopol State University;  
PhD, associate professor of the chair  
of Engineering Science and Technical  
Mechanics;  
A. Kosareva str., 14a, Sevastopol,  
Russian Federation;

**Kolesova Marina Alexandrovna**  
Sevastopol State University;  
lecturer of the chair of Higher  
Mathematics;  
A. Kesaeva str., 7/3, Sevastopol,  
Russian Federation;  
Phone: +7 978 045 69 82

**Shtanko Petr Konstantinovich**  
Zaporizhzhya Yational Technical  
University;  
PhD, associate professor of the chair  
of Mechanics;  
Zhukovskogo str., 64, Zaporizhzhya,  
Ukraine;

УДК 531.7, 681.2.08

В.В. ПОРОШИН, Д.Ю. БОГОМОЛОВ

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В УЗКОМ ТРЕХМЕРНОМ КАНАЛЕ С ШЕРОХОВАТЫМИ СТЕНКАМИ

**Аннотация.** Рассмотрена математическая модель теплопереноса в узких каналах с учетом шероховатости их стенок в трехмерной постановке. Описан численный метод решения данной модели. Показаны примеры моделирования для каналов с гладкими стенками и каналов с реальными технологическими шероховатыми стенками.

**Ключевые слова:** узкий канал, шероховатость поверхности, поток сплошной среды, теплообмен.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Порошин, В.В. Математическое моделирование теплопереноса вязкой жидкости в узком двумерном канале с шероховатыми стенками / Богомолов Д.Ю. // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2016. – № 3(317). – С. 57– 63.

2. Богомолов, Д.Ю. Математическое моделирование течения жидкости в щелевых каналах с учетом реальной микротопографии поверхности их стенок / Д.Ю. Богомолов, В.В. Порошин, В.Ю. Радыгин, А.А. Сыромятникова, А.А. Шейпак. – М.: МГИУ, 2010. – 160 с.

4. Rohsenow, W.M. Handbook Of Heat Transfer / W.M. Rohsenow, J.R Hartnett, Y.I. Cho. – MCGRAW-HILL, 1998. – 158 p.

**Порошин Валерий Владимирович**

АНО ВО «Московский институт экономики и менеджмента (АНО МИЭМ)»,  
г. Москва  
доктор технических наук, ректор  
115211, г. Москва, ул. Борисовские пруды, д.8, к.2.  
Тел.: +79161550270  
E-mail: vporoshyn@mail.ru

**Богомолов Дмитрий Юрьевич**

АНО ВО «Московский институт экономики и менеджмента (АНО МИЭМ)»,  
г. Москва  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Социально-гуманитарных и естественных наук»,  
115211, г. Москва, ул. Борисовские пруды, д.8, к.2.  
Тел.: +79165075098  
E-mail: bogom-ov@mail.ru

---

V.V. POROSHIN, D.Yu. BOGOMOLOV

## ADAPTIVE LOCAL DEFECT FILTER FOR SURFACE TOPOGRAPHY CONTROL OF MECHANICAL SYSTEM ELEMENTS

**Abstract.** The mathematical model of fluid flow and heat flux in thin channel of mechanical systems with moving rough walls in the 3D approach is proposed. The numerical method for solving proposed model is described. The examples of heat flux modeling for channels with smooth walls and walls having real measured technological surface roughness are shown.

**Keywords:** thin channel, surface roughness, fluid flow, heat flux.

### BIBLIOGRAPHY

1. Poroshin, V.V. Matematicheskoye modelirovaniye teploperenosa вязкой жидкости в узком двумерном канале с шероховатыми стенками / Bogomolov D.YU. // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2016. – № 3(317). – С. 57– 63.

2. Bogomolov, D.YU. Matematicheskoye modelirovaniye techeniya жидкости в щелевых каналах с учетом реальной микротопографии поверхности их стенок / D.YU. Bogomolov, V.V. Poroshin, V.YU. Radygin, A.A. Syromyatnikova, A.A. Sheypak. – М.: МГИУ, 2010. – 160 с.

4. Rohsenow, W.M. Handbook Of Heat Transfer / W.M. Rohsenow, J.R Hartnett, Y.I. Cho. – MCGRAW-HILL, 1998. – 158 p.

**Poroshin Valery Vladimirovich**

Autonomous noncommercial institution of high education «Moscow institute of economics and management (ANO MIEM)»,  
Doctor of Techn. Science, rector,  
115211, Moscow, Borisovskiye prudy, 8, b.2.  
Tel.: +79161550270  
E-mail: vporoshyn@mail.ru

**Bogomolov Dmitry Yuryevich**

Autonomous noncommercial institution of high education «Moscow institute of economics and management (ANO MIEM)»,  
PhD, associate professor of «Social-humanitarian and natural sciences »,  
115211, Moscow, Borisovskiye prudy, 8, b.2.  
Tel.: +79165075098  
E-mail: bogom-ov@mail.ru

УДК 519.6

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

## УСТОЙЧИВОСТЬ ПО ЯКОБИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИБРИДНЫХ АЛГОРИТМОВ

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы устойчивости по Якоби динамических систем в рамках теории Косамби–Картана–Черна. Эволюцию системы описывают в геометрических терминах, представляя ее как геодезическую в финслеровом пространстве. Определяются геометрические инварианты исследуемой системы. Собственные значения второго инварианта дают оценку устойчивости системы по Якоби. Формулируется задача вычислительной диагностики системы по заданным собственным значениям тензора кривизны отклонения. Критериальные функции предполагаются непрерывными, липшицевыми, многоэкстремальными, не обязательно всюду дифференцируемыми. При поиске глобальных решений используются новые гибридные алгоритмы, объединяющие стохастический кратный алгоритм столкновения частиц (сканирование пространства переменных) и детерминированные методы локального поиска. В первом алгоритме локальный поиск реализуется модифицированным симплекс-методом Нелдера–Мида. Во втором алгоритме при локальном поиске вводятся двухпараметрические сглаживающие аппроксимации критериальной функции. Приводится численный пример коррекции параметров и вычислительной диагностики системы Лоренца.

**Ключевые слова:** динамическая система, устойчивость по Якоби, геометрический инвариант, критериальная функция, глобальная оптимизация, гибридный алгоритм, система Лоренца.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степаньянц, Г.А. Теория динамических систем: учеб. пособие / Г.А. Степаньянц. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – 312 с.
2. Udriște, C. Jacobi stability and geometric dynamics / C. Udriște, C., I.R. Nicola // Journal of Dynamic Systems and Geometrical Theories. – 2007. – Vol. 5, № 1. – P. 85–95.
3. 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. – 1656014 (24 pages).
4. Punzi, R., Wohlfarth M.N.R. Geometry and stability of dynamical systems / R. Punzi, M.N.R Wohlfarth // Physical Review E. – 2009. – V. 79, № 4. – 046606 (22 pages).
5. Harko, T., Ho C.Y., Leung C.S., Yip S. Jacobi stability analysis of the Lorenz system / T Harko, C.Y. Ho, C.S. Leung C.S., S. Yip // International Journal of Geometric Methods in Modern Physics. – 2015. – V. 12, № 7. – 1550081 (23 pages).
6. 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.
7. Sabau, S.V. Systems biology and deviation curvature tensor / S.V. Sabau // Nonlinear Analysis: Real World Applications. – 2005. – V. 6, № 3. – P. 563–587.
8. Ciralo, G. Geometry of chaos in models of stellar dynamics / G Ciralo, M. Pettini // Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy. – 2002. – V. 83, № 1. – P. 171–190.
9. Böhmer, C.G. Jacobi stability analysis of dynamical systems – applications in gravitation and cosmology / C.G. Böhmer, T. Harko, S.V. Sabau // Advances in Theoretical and Mathematical Physics. – 2012. – V. 16, № 4. – P. 1145–1196.

10. Lake, M.J. Dynamical behavior and Jacobi stability analysis of wound strings / M.J. Lake, T Harko // European Physical Journal C. – 2016. – V. 76, № 6. – 331 (26 pages).
11. Kirsch, A. An introduction to the mathematical theory of inverse problems. 2<sup>nd</sup> edition / A. Kirsch. – New York et al.: Springer, 2011. – XIV+308 p.
12. Goncharsky, A.V. Supercomputer technologies in inverse problems of ultrasound tomography / A.V. Goncharsky, S.Y. Romanov // Inverse Problems. – 2013. – V. 29, № 7. – P. 1–22.
13. Lorenz, E.N. Deterministic nonperiodic flow / E.N. Lorenz // Journal of the Atmospheric Sciences. – 1963. – V. 20, № 1. – P. 130–141.
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. Sulimov, V.D. Application of hybrid algorithms to computational diagnostic problems for hydromechanical systems / V.D. Sulimov, P.M. Shkapov // Journal of Mechanics Engineering and Automation. – 2012. – V. 2, № 12. – P. 734–741.
17. Xiao, H.F. Multi-direction-based Nelder–Mead method / H.F. Xiao, J.A. Duan // Optimization: A Journal of Mathematical Programming and Operations Research. – 2014. – V. 63, № 7. – P. 1005–1026.
18. Сулимов, В.Д. Оптимизация сингулярных чисел матриц, зависящих от параметров, с использованием гибридных алгоритмов / В.Д. Сулимов, П.М. Шкапов, А.В. Сулимов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Естественные науки». – 2016, № 5 (68). – С. 46–66.

**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  
E-mail: spm@bmstu.ru

**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  
E-mail: spm2@bk.ru

**Сулимов Андрей Валерьевич**

Филиал Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Севастополь  
Старший специалист по учебно-методической работе практикума по физике  
299001, г. Севастополь, ул. Героев Севастополя, 7  
Тел. +7-(8692)-40-18-27  
E-mail: avs7@yandex.ru

---

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

## JACOBI STABILITY AND COMPUTATIONAL DIAGNOSTICS OF DYNAMICAL SYSTEMS USING HYBRID ALGORITHMS

**Abstract.** Consideration is being given to Jacobi stability of dynamical systems in the framework of the Kosambi–Cartan–Chern theory. In this approach they describe the time evolution of a dynamical system in geometric terms, by presenting it as a geodesic in the Finsler space. 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. 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 Multi-Particle Collision Algorithm (for scanning a search space) and deterministic methods for local searching. The local search is realized by use of the modified Nelder–Mead simplex 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 updating parameters and computational diagnostics of the Lorenz system is presented.

**Keywords:** dynamical system, Jacobi stability, geometrical invariant, criterion function, global optimization, hybrid algorithm, Lorenz system.



## BIBLIOGRAPHY

1. Stepanyanc, G.A. Teoriya dinamicheskikh sistem: ucheb. posobie / G.A. Stepanyanc. – M.: Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2010. – 312 s.
2. Udrište, C. Jacobi stability and geometric dynamics / C. Udrište, C., I.R. Nicola // *Journal of Dynamic Systems and Geometrical Theories*. – 2007. – Vol. 5, № 1. – P. 85–95.
3. Harko, T. Kosambi–Cartan–Chern (KCC) theory for higher order dynamical systems / T Harko, P Pantaraphong, S.V. Sabau // *International Journal of Geometric Methods in Modern Physics*. – 2016. – V. 13, № 2. – 1656014 (24 pages).
4. Punzi, R., Wohlfarth M.N.R. Geometry and stability of dynamical systems / R. Punzi, M.N.R Wohlfarth // *Physical Review E*. – 2009. – V. 79, № 4. – 046606 (22 pages).
5. Harko, T., Ho C.Y., Leung C.S., Yip S. Jacobi stability analysis of the Lorenz system / T Harko, C.Y. Ho, C.S. Leung C.S., S. Yip // *International Journal of Geometric Methods in Modern Physics*. – 2015. – V. 12, № 7. – 1550081 (23 pages).
6. 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.
7. Sabau, S.V. Systems biology and deviation curvature tensor / S.V. Sabau // *Nonlinear Analysis: Real World Applications*. – 2005. – V. 6, № 3. – P. 563–587.
8. Ciraolo, G. Geometry of chaos in models of stellar dynamics / G Ciraolo, M. Pettini // *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*. – 2002. – V. 83, № 1. – P. 171–190.
9. Böhmer, C.G. Jacobi stability analysis of dynamical systems – applications in gravitation and cosmology / C.G. Böhmer, T. Harko, S.V. Sabau // *Advances in Theoretical and Mathematical Physics*. – 2012. – V. 16, № 4. – P. 1145–1196.
10. Lake, M.J. Dynamical behavior and Jacobi stability analysis of wound strings / M.J. Lake, T Harko // *European Physical Journal C*. – 2016. – V. 76, № 6. – 331 (26 pages).
11. Kirsch, A. An introduction to the mathematical theory of inverse problems. 2<sup>nd</sup> edition / A. Kirsch. – New York et al.: Springer, 2011. – XIV+308 p.
12. Goncharsky, A.V. Supercomputer technologies in inverse problems of ultrasound tomography / A.V. Goncharsky, S.Y. Romanov // *Inverse Problems*. – 2013. – V. 29, № 7. – P. 1–22.
13. Lorenz, E.N. Deterministic nonperiodic flow / E.N. Lorenz // *Journal of the Atmospheric Sciences*. – 1963. – V. 20, № 1. – P. 130–141.
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. Sulimov, V.D. Application of hybrid algorithms to computational diagnostic problems for hydromechanical systems / V.D. Sulimov, P.M. Shkapov // *Journal of Mechanics Engineering and Automation*. – 2012. – V. 2, № 12. – P. 734–741.
17. Xiao, H.F. Multi-direction-based Nelder–Mead method / H.F. Xiao, J.A. Duan // *Optimization: A Journal of Mathematical Programming and Operations Research*. – 2014. – V. 63, № 7. – P. 1005–1026.
18. Sulimov, V.D. Optimizaciya singulyarnyh chisel matric, zavisyashchih ot parametrov, s ispolzovaniem gibridnyh algoritmov / V.D. Sulimov, P.M. SHkapov, A.V. Sulimov // *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. «Estestvennye nauki»* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.]. – 2016, № 5 (68). – S. 46–66. doi: 10.18698/1812–3368–2016–5–46–66

### **Sulimov Valeriy Dmitrievich**

Bauman Moscow State Technical University, Moscow  
Senior Teacher of Theoretical Mechanics Departmen  
named after prof. N.E. Zhukovskiy  
105005, Moscow, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya Street, 5  
Ph.: 8–499–263–64–96  
E–mail: spm@bmstu.ru

### **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, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya Street, 5  
Ph.: 8–499–263–69–69  
E–mail: spm2@bk.ru

### **Sulimov Andrey Valeryevich**

Branch of Lomonosov Moscow State University in  
Sevastopol, Sevastopol  
Senior specialist on educational–methodical work of  
physical practicum  
299001, Sevastopol, Geroev Sevastopolya Street, 7  
Ph.: +7–(8692)–40–18–27  
E–mail: avs7@yandex.ru

Т.Л. ЧЕМАКИНА, И.Н. МОРЕВА, Н.С. ДЬЯЧУК

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА СУДНО В ПЕРИОД ЯКОРНОЙ СТОЯНКИ

**Аннотация.** Рассмотрена методика определения внешних сил, действующих на судно, стоящего на якоре.

**Ключевые слова:** судно, якорная стоянка, внешние силы, эффективная скорость ветра, надводная часть судна, смоченная поверхность судна, сила течения, число Рейнольдса, волновой дрейф.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование общесудовых устройств: Учебное пособие/ В.В. Зайцев, А.Е. Еганов, Ю.Н. Коробанов, Э.В. Тальшев, Вал. В. Зайцев. – Николаев: Изд-во «ИЛИОН»; изд-во УГМТУ, 2004. – 300 с.
2. Судовые устройства: Справочник / Под ред. М.Н. Александрова. – Л.: Судостроение, 1987. – 656 с.
3. Справочник «Резолюции ИМО в периодических сборниках №№1–50», – СПб.: ЗАО «ЦНИИМФ», 2015.
4. Международные правила предупреждения столкновений судов в море, 1972 г., с поправками, – СПб.: ЗАО «ЦНИИМФ», 2010.
5. Шарлай, Г.Н. Маневрирование и управление морским судном / Г.Н. Шарлай. – М.: «Моркнига», 2015.

**Чемакина Тамара Львовна**  
Севастопольский государственный  
университет, г.Севастополь  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Океанотехника и  
кораблестроение»  
Тел.: +7(978)7911440  
E-mail:chemakina51@mail.ru

**Морева Ирина Николаевна**  
Севастопольский государственный  
университет, г.Севастополь  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Океанотехника и  
кораблестроение»  
Тел.: +7(978)8136685  
E-mail:i.n.moreva@mail.ru

**Дьячук Надежда Станислововна**  
3 курс, группа ПК/с–32–о  
Севастопольский государственный  
университет, г.Севастополь  
Тел.: +7 (978) 7003349  
E-mail:nadusha960@gmail.com

---

T.L. CHEMAKINA, I.N. MOREVA, N.S. DYACHUK

## METHODOLOGY OF DEFINITION OF FORCES ACTING ON THE VESSEL IN THE PERIOD OF ANCHOR PARKING

**Abstract.** The method of determining the external forces acting on the ship standing at anchor.

**Keywords:** ship, mooring, external force, effective wind speed, surface part of the vessel, the wetted surface of the vessel, the force of the current, the Reynolds number, wave drift.

### BIBLIOGRAPHY

1. Proyektirovaniye obshchesudovyykh ustroystv: Uchebnoye posobiye/ V.V. Zaytsev, A.Ye. Yeganov, YU.N. Korobanov, E.V. Talyshev, Val. V. Zaytsev. – Nikolayev: Izd-vo «ILION»; izd-vo UGMTU, 2004. – 300 s.
2. Sudovyye ustroystva: Spravochnik / Pod red. M.N. Aleksandrova. – L.: Sudostroyeniye, 1987. – 656 s.
3. Spravochnik «Rezolyutsii IMO v periodicheskikh sbornikakh №№1–50», – SPb.: ZAO «TSNIIMF», 2015.
4. Mezhdunarodnyye pravila preduprezhdeniya stolknoveniy sudov v more, 1972 g., s popravkami, – SPb.: ZAO «TSNIIMF», 2010.
5. Sharlay, G.N. Manevrirovaniye i upravleniye morskim sudnom / G.N. Sharlay. – M.: «Morkniga», 2015.

**Chemakina Tamara Lvovna**  
Sevastopol State University,  
Sevastopol  
Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor of the  
Department «Ocean Engineering and  
Shipbuilding»  
Ph.: +7 (978) 7911440  
E-mail: chemakina51@mail.ru

**Moreva Irina Nikolaevna**  
Sevastopol State University,  
Sevastopol  
Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor of the  
Department «Ocean Engineering and  
Shipbuilding»  
Ph.: +7 (978) 8136685  
E-mail: i.n.moreva@mail.ru

**Dyachuk Nadezhda Stanislavovna**  
3 year, group PC / s–32–o  
Sevastopol State University,  
Sevastopol  
Ph.: +7 (978)7003349  
E-mail: nadusha960@gmail.com

## ЧИСЛЕННОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РАСТЯЖЕНИЯ–КРУЧЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 09Г2С ПРИ БОЛЬШИХ ДЕФОРМАЦИЯХ

**Аннотация.** Приведены результаты численных и экспериментальных исследований процессов упругопластического деформирования и образования шейки при пропорциональном кинематическом нагружении растяжением и (или) кручением сплошных осесимметричных образцов из стали 09Г2С до разрушения. Оценивается взаимное влияние растяжения и кручения на процессы деформирования при больших деформациях. С использованием экспериментально–расчетного метода построены диаграммы деформирования и установлено существенное различие диаграмм растяжения и кручения стали 09Г2С при деформациях более 15%.

**Ключевые слова:** упругопластичность, большие деформации, диаграмма деформирования, комбинированное нагружение, растяжение–кручение, численное моделирование, эксперимент.

*Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект 17–08–00972–а).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аннин, Б.Д. Поведение материалов в условиях сложного нагружения / Б.Д. Аннин, В.М. Жигалкин. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 1999. – 342 с.
2. Дегтярев, В.П. Деформации и разрушение в высоконапряженных конструкциях / В.П. Дегтярев. – М.: Машиностроение, 1987. – 105 с.
3. Баженов, В.Г. Моделирование процессов деформирования и локализации пластических деформаций при кручении–растяжении тел вращения / В.Г. Баженов, С.В. Зефилов, Л.Н. Крамарев, Е.В. Павленкова // ПММ. – 2008. – Том 72, вып. 2. – С. 342 – 350.
4. Бердин, В.К. Об определении напряженного состояния при растяжении с кручением сплошного цилиндра / В.К. Бердин, Р.М. Кашаев // Проблемы прочности. – 2001. – № 1. – С. 28 – 37.
5. Ипатова, А.В. Построение материальных функций неупругого деформирования алюминиевого сплава Д16Т по результатам испытаний на растяжение и кручение / А.В. Ипатова, В.Э. Вильдеман // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.–мат. науки. – 2012. – № 4 (29). – С. 106 – 114.
6. Третьяков, М.П. Опытное изучение закономерностей закритического поведения с учетом неоднородности деформирования образца / М.П. Третьяков, В.Э. Вильдеман // Математическое моделирование в естественных науках. – 2016. – № 1. – С. 549 – 553.
7. Nadai, A. Theory of Flow and Fracture of Solids / A. Nadai. – N.y. etc.: McGraw–Hill, 1963 Надаи, А. Пластичность и разрушение твердых тел / А. Надаи. Пер. с англ. под ред. Г.С. Шапиро. Т.1. М.: Изд–во иностр. лит., 1954.; Т.2. М.: Мир, 1969.
8. Васин, Р.А. Исследование определяющих соотношений и критериев разрушения на сплошных и толстостенных трубчатых цилиндрических образцах / Р.А. Васин, А.А. Ильюшин, П.А. Моссаковский // Изв. РАН. МТТ. – 1994. – № 2. – С. 177 – 184.
9. Иванов, А.М. Механизм разрушения низколегированной стали, подвергнутой комбинированной интенсивной пластической деформации и отжигу / А.М. Иванов // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. – 2016. – Т. 21, вып. 3. Физика. – С. 1016 – 1019.
10. Петрова, Н.Д. Влияние режимов термопластической обработки на механические свойства и механизм разрушения низколегированной стали при низких температурах испытания / Н.Д. Петрова, А.М. Иванов, А.С. Сыромятникова // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2. – С. 30 – 35.
11. Баландин, Вл.Вл. Баландин, А.М. Брагов, Л.А. Игумнов, А.Ю. Константинов, А.К. Ломунов // Известия РАН. МТТ. – 2014. – № 6. – С. 78 – 85.
12. Качанов, Л.М. Основы теории пластичности / Л.М. Качанов. – М.: Наука, 1969. – 420 с.
13. Баженов, В.Г. Экспериментально–теоретическое исследование предельных состояний упругопластических стержней различного поперечного сечения при растяжении / В.Г. Баженов, А.И. Кибец, П.В. Лаптев, С.Л. Осетров // Проблемы механики. Сб. статей к 90–летию со дня рождения А.И. Ишлинского. Под ред. Климова Д.М. и др. М.: Физматлит, 2003. – С. 116 – 123.
14. Малинин, Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести / Н.Н. Малинин. – М.: Машиностроение, 1975. – 400 с.

**Баженов Валентин Георгиевич**  
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский  
Нижегородский государственный университет им.  
Н.И. Лобачевского», г. Н.Новгород  
Доктор физико–математических наук, профессор, зав.  
лабораторией «Лаборатория математического  
моделирования и идентификации свойств материалов»

**Нагорных Елена Владимировна**  
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский  
Нижегородский государственный университет им.  
Н.И. Лобачевского», г. Н.Новгород  
Кандидат физико–математических наук, доцент,  
старший научный сотрудник  
603950, ГСП–1000, г. Н. Новгород, пр. Гагарина 23.

603950, ГСП–1000, г. Н. Новгород, пр. Гагарина 23.  
Тел. +7 920 077 73 09  
E-mail: bazhenov@mech.unn.ru

**Казakov Дмитрий Александрович**  
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский  
Нижегородский государственный университет им.  
Н.И. Лобачевского», г. Н.Новгород  
Кандидат технических наук, зав. лабораторией  
603950, ГСП–1000, г. Н. Новгород, пр. Гагарина 23.  
Тел. +7 920 064 51 61  
E-mail: kazakov@mech.unn.ru

Тел. +7 902 308 69 26  
E-mail: pavlyonkova@mech.unn.ru

**Осетров Дмитрий Львович**  
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский  
Нижегородский государственный университет им.  
Н.И. Лобачевского», г. Н.Новгород  
Аспирант, младший научный сотрудник  
603950, ГСП–1000, г. Н. Новгород, пр. Гагарина 23.  
Тел. +7 920 024 41 13  
E-mail: osetrovdmitry@mail.ru

**Рябов Александр Алексеевич**  
ФГУП РФЯЦ–ВНИИЭФ, г. Саров Нижегородской  
области  
Доктор физико–математических наук, начальник  
отделения

V.G. BAZHENOV, D.A. KAZAKOV, E.V. NAGORNYKH, D.L. OSETROV, A.A. RYABOV

## NUMERICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF ELASTOPLASTIC TENSION–TORSION PROCESSES OF CYLINDRICAL SPECIMENS FROM STEEL 09G2S UNDER LARGE DEFORMATIONS

**Abstract.** *The results of numerical and experimental investigations of the processes of elastoplastic deformation and the formation of the neck under proportional kinematic tensile and/or torsional loading of solid axisymmetric samples from steel 09G2S until failure are given. The mutual influence of torsion and tension on the deformation under large strains is estimated. Using the experimental calculation method, deformation diagrams were constructed and a significant difference in the tensile and torsion diagrams of 09G2S steel was established for deformations greater than 15%.*

**Keywords:** *elastoplasticity, large strains, deformation diagram, combined loading, tension and torsion, numerical simulation, experiment.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Annin, B.D. Povedenie materialov v usloviyah slozhnogo nagruzheniya/ B.D. Annin, V.M. Zhigalkin. – Novosibirsk: Izdatelstvo SO RAN, 1999. – 342 s.
2. Degtyaryov, V.P. Deformatsii i razrushenie v vysokonapryazhennykh konstruktsiyah / V.P. Degtyaryov. – M.: Mashinostroenie, 1987. – 105 s.
3. Bazhenov, V.G. Modelirovanie protsessov deformirovaniya i lokalizatsii plasticheskix deformatsii pri kruchenii–rastyazhenii tel vrasheniya / V.G. Bazhenov, S.V. Zefirov, L.N. Kramarev, E.V. Pavlyonkova // PMM. – 2008. – Tom 72, vyp. 2. – S. 342 – 350.
4. Berdin, V.K. Ob opredelenii napryazhonnogo sootnoyeniya pri rastyazhenii s krucheniem sploshnogo tsilindra / V.K. Berdin, R.M. Kashayev // Problemy prochnosti. – 2001. – № 1. – S. 28 – 37.
5. Ipatova, A.V. Postroenie materialnykh funktsii neuprugogo deformirovaniya alyuminiyevovo splava D16T po rezul'tatam ispytaniya na rastyazhenie i kruchenie / A.B. Ipatova, V.E. Vildeman // Vestn. Sam. gos. tehn. un–ta. Ser. Fiz. –mat. nauki. – 2012. – № 4 (29). – S. 106 – 114.
6. Tretyakov, M.P. Opytnoe izuchenie zakonornostey zakriticheskogo povedeniya s uchetoм neodnorodnosti deformirovaniya obraztsa / M.P. Tretyakov, V.E. Vildeman // Matematicheskoe modelirovanie v estestvennykh naukah. – 2016. – № 1. – S. 549 – 553.
7. Nadai, A. Theory of Flow and Fracture of Solids / A. Nadai. – N.y. etc.: McGraw–Hill, 1963.
8. Vasin, R.A. Issledovanie opredelyayuschih sootnoshenii i kriteriev razhrusheniya na sploshnykh i tolstostennykh trubchatykh tsylindricheskikh obraztsah / R.A. Vasin, A.A. Ilyushin, P.A. Mossakovskii // Izv. RAN. MTT. – 1994. – № 2. – S. 177 – 184.
9. Ivanov, A.M. Mehanizm razrusheniya nizkolegirovannoi ctali, podvergnutoi kombinirovannoi intensivnoi plasticheskoi deformatsii i otzhigu / A.M. Ivanov // Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tehnikheskie nauki. – 2016. – T. 21, vyp. 3. Fizika. – S. 1016 – 1019.
10. Petrova, N.D. Vliyaniye rezhimov termoplasticheskoi obrabotki na mehanicheskie svoistva i mehanizm razrusheniya nizkolegirovannoi stali pri nizkikh temperaturah ispytaniya / N.D. Petrova, A.M. Ivanov, A.S. Syromyatnikova // Fundamentalnie issledovaniya – 2015. – № 2. – S. 30 – 35.
11. Balandin, V.I. Vysokoskorostnoe deformirovanie i razrushenie stali 09G2S / V.I. Vas. Balandin, V.I. B.I. Balandin, A.M. Bragov, L.A. Igumnov, A.Yu. Konstantinov, A.K. Lomunov // Izvestiya RAN. MTT. – 2014. – № 6. – S. 78 – 85.
12. Kachanov, L.M. Osnovy teorii plastichnosti / L.M. Kachanov. – M.: Nauka, 1969. – 420 s.
13. Bazhenov, V.G. Eksperimentalno–teoreticheskoe issledovanie predelnykh sostoyanii uprugoplasticheskikh sterzhney razhlichnogo poperechnogo secheniya pri rastyazhenii / V.G. Bazhenov, A.I. Kibec, P.V. Laptsev, S.L.

Osetrov // Problemy mehaniki. Sb. statei k 90–letiyu so dnya rozhdeniya A.I. Ishlinskogo. Pod red. Klimova D.M. i dr. M.: Fizmatlit, 2003. – С. 116 – 123.

14. Malinin, N.N. Prikladnaya teoriya plastichnosti i polzuchesti / N.N. Malinin. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 400 s.

**Bazhenov Valentin Georgievich**

National Research Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod  
Doctor Phys. And Math. Sci., Professor, Head of Laboratory «Laboratory of Mathematical Modeling and Material Property Identification»  
603950, GSP–1000, Nizhny Novgorod, pr. Gagarina, 23.  
Ph.: +7 920 077 73 09  
E–mail: bazhenov@mech.unn.ru

**Kazakov Dmitry Aleksandrovich**

National Research Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod  
Cand. Techn. Sci., Head of Laboratory  
603950, GSP–1000, Nizhny Novgorod, pr. Gagarina, 23.  
Ph.: +7 920 064 51 61  
E–mail: kazakov@mech.unn.ru

**Nagornykh Elena Vladimirovna**

National Research Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod  
Cand. Phys. And Math. Sci., Docent, Senior Researcher  
603950, GSP–1000, Nizhny Novgorod, pr. Gagarina, 23.  
Ph.: +7 902 308 69 26  
E–mail: pavlyonkova@mech.unn.ru

**Osetrov Dmitry Lvovich**

National Research Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod  
Graduate student, Associate Researcher  
603950, GSP–1000, Nizhny Novgorod, pr. Gagarina, 23.  
Ph.: +7 920 024 41 13  
E–mail: osetrovdmitry@mail.ru

**Ryabov Aleksandr Alekseevich**

FGUP RFYAC–VNIIEF, Sarov of Nizhny Novgorod Region  
Doctor Phys. And Math. Sci., Head of Department

УДК 621.3.014.333: 669.054.8

С.Д. САМУЙЛОВ, О.А. ТРОИЦКИЙ

**ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОЕ КОМПАКТИРОВАНИЕ  
(БРИКЕТИРОВАНИЕ) ДИСПЕРСНЫХ ПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ  
ДЛЯ РЕЦИКЛИНГА ОТХОДОВ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ,  
ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК, ПОЛУФАБРИКАТОВ, МАТЕРИАЛОВ  
И ИЗДЕЛИЙ С НОВЫМ УРОВНЕМ СВОЙСТВ**

**Аннотация.** *Анализируется возможность получения пористых металлических материалов с использованием электроимпульсной технологии брикетирования дисперсных металлических сред. Прочность брикета формируется за счёт контактной импульсной электрической сварки частиц металла, в качестве технологического инструмента используется электрический ток большой плотности. При относительно небольшом вкладе энергии (~ 5 квт.час/т) прочность брикетов на разрыв более 200 кН/м<sup>2</sup>. Плотность брикетов может регулироваться в диапазоне от 10 до 50 %. Можно изготавливать пористые материалы из металлической стружки и порошка, изготавливать композиты с электропроводящими и диэлектрическими включениями.*

**Ключевые слова:** *компактирование, брикетирование, легковесный металлолом, порошковая металлургия, сложный лом, металлическая стружка, пористые металлы, импульсная электрическая сварка.*

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Юсфин, Ю.С. Ресурсо–экологические проблемы XXI века и металлургия / Ю.С. Юсфин, В.С. Лисин. – М. Высшая школа, 1998. – 447 с.
2. Деменюк, В.Д. Методы электроимпульсной консолидации: альтернатива спарк–плазменному спеканию (обзор литературы) / В.Д. Деменюк, М.С. Юрлова, Л.Ю. Лебедева, Е.Г. Григорьев, Е.А. Олевский // Ядерная физика и инжиниринг. – 2013. – Т. 4. – № 3. – С. 195.
3. Yurlova, M.S. Electric pulse consolidation: an alternative to spark plasma sintering / M.S. Yurlova, V.D. Demenyuk, L.Y. Lebedeva, D.V. Dudina, E.G. Grigoryev, E.A. Olevsky // Journal of Materials Science. – 2014. – Т. 49. – № 3. – С. 952–985.
4. Троицкий, О.А. Физические основы и технологии обработки современных материалов» (теория, технология, структура и свойства) / О.А. Троицкий, Ю.В. Баранов, Ю.С. Авраамов, А.Д. Шляпин. – Москва–Ижевск, монография т. I (590 стр.) и т. II (467 стр.), Изд–во РХД, АНО ИКИ (г. Ижевск), 2004.
5. Самуйлов, С.Д. Электрофизический метод брикетирования металлической стружки / С.Д. Самуйлов. – LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrucken Germany, 2011. – 136 с.
6. Пузаков, И.Ю. Газонасыщение точек сварки при брикетировании титановых сплавов электроимпульсным методом / И.Ю. Пузаков, М.А. Корнилова, С.Д. Самуйлов, А.Д. Крестьянинов // Технология лёгких сплавов. – 2011. – № 1. – С. 98 – 107.

7. Абрамова, К.Б. Формирование брикетов из отдельных металлических частиц и диэлектрика, под воздействием коротких импульсов электрического тока большой плотности / К.Б. Абрамова, Ю.Н. Бочаров, С.Д. Самуйлов, И.П. Щербаков // ЖТФ. – 2001. – т. 71. – В. 4. – С 122 – 127.
8. Самуйлов, С.Д. Электроимпульсная установка для брикетирования металлических отходов/ С.Д. Самуйлов. – LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrucken Germany, 2015. – 80 с.
9. Самуйлов С.Д., Крестьянинов Д.А., Щербаков И.П. Патент на Полезную модель № 107723 «Устройство для брикетирования металлической стружки», дата приоритета 07.02.11., БИ № 24 27.08.2011.
10. Самуйлов С.Д., Крестьянинов Д.А., Щербаков И.П. Патент на Полезную модель № 147578 «Устройство для брикетирования металлической стружки», дата приоритета 07.03.14., БИ № 31 10.11.2014.
11. Самуйлов, С.Д. Электроимпульсная технология брикетирования стружки и других отходов чёрных металлов/ С.Д. Самуйлов // Чёрные металлы. – 2009. – С 14 – 19.
12. Бочаров, Ю.Н. О возможности использования электрофизической технологии брикетирования металлической стружки для изготовления лигатур / Ю.Н., Бочаров, Д.А. Крестьянинов, С.Д. Самуйлов, Ю.А. Филин // Научно–технические ведомости СПбГПУ. – 2008. – № 6 (70). – С. 125 – 130.
13. Троицкий, О.А. Сварка При Упаковке Стружечных Отходов / О.А. Троицкий, С.Д. Самуйлов // Сварка. Реновация. Триботехника. тезисы докладов VII Уральской научно–практической конференции. ФГАОУ ВПО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Нижнетагильский технологический институт (филиал). – 2015. – С. 148–152.
14. Троицкий, О.А. Технология деванадации чугуна с присадкой содержащих окалину брикетов на основе стальной стружки / О.А. Троицкий, С.Д. Самуйлов, В.Ф. Юдкин, В.В. Кашин, Ю.Д. Исупов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2015. – Т. 1,1. – С. 73–76.
15. Игнатов, В.И. Получение металлических порошков механическим измельчением стружки или лома и пористых образцов электроимпульсным методом / В.И. Игнатов, А.А. Краснов, К. Костров, А.Ю. Силин, С.Д. Самуйлов // Цветные металлы. – 2010. – № 1. – С. 80–84.
16. Самуйлов, С.Д. Электроимпульсное компактирование – перспективный метод получения пористых материалов/ С.Д. Самуйлов // Технология металлов. – 2012. – № 9.
17. Самуйлов, С.Д. К вопросу о поведении и устойчивости жидкого металла в квазиплоских электрических контактах/ С.Д. Самуйлов // ЖТФ. – 2016. – Т. 86. – В. 6. – С 17–33.
18. Samuilov, S.D. On the Behavior and Stability of a Liquid Metal in Quasi–planar Electric Contacts / S.D. Samuilov // Technical Physics. – 2016. – Vol. 61. – №. 6. – pp. 815–821.

**Самуйлов Сергей Дмитриевич**  
Физико–Технический Институт им. А.Ф. Иоффе,  
Россия, Санкт Петербург.  
Кандидат технических наук, старший научный  
сотрудник.  
Тел.: (812)– 292–71–36, (911)–161–07–22  
E–mail: Sam.mhd@mail.ioffe.ru

**Троицкий Олег Александрович**  
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН,  
Россия, Москва,  
Доктор технических наук, главный научный  
сотрудник  
E–mail: o.a.troitsky@rambler.ru

---

S.D. SAMUILOV, O.A. TROITSKY

## **ELECTRICAL PLASTICITY COMPACTING (BRIQUETTING) OF DISPERSED ELECTRICAL CONDUCTING MATERIAL FOR RECYCLING OF WASTE HIGH–STRENGTH ALLOY, PRODUCING OF BLANK, SEMIFINISHED ITEM, MATERIAL AND FINISHED ITEM WITH A NEW LEVEL OF PROPERTY**

**Abstract.** *Is analyzed possibility of reception of porous metal materials with use of electrical pulse technology of briquetting of disperse metal medium. Durability of a briquette is formed for the account of contact pulse electric welding of particles of metal, as the technological tool the electric current of the high density is used. At rather small contribution of energy (~ 5 kW•h/t) durability of briquettes under tensile stress more than 200 kN/m<sup>2</sup>. The density of briquettes can be regulated in a range from 10 to 50 %. It is possible to make porous materials of a metal shaving and a powder, to make composites with electrical conducting and dielectric inclusions.*

**Keywords:** *powder metallurgy, porous metal, electrical plasticity, electrical pulse technology, compaction, briquetting, sinter, electrical physics settings, electrical welding, wastes, scrap–metal, metallic shavings.*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Yusfin. YU.S. Resurso–ekologicheskiye problemy XXI veka i metallurgiya / YU.S. Yusfin, V.S. Lisin. – M. Vysshaya shkola. 1998. – 447 s.
2. Demenvuk. V.D. Metody elektroimpulsnov konsolidatsii: alternativa spark–plazmennomu spekanivu (obzor literatury) / V.D. Demenvuk. M.S. Yurlova, L.YU. Lebedeva, Ye.G. Grigoryev, Ye.A. Olevskiy // Yadernaya fizika i inzhiniring. – 2013. – Т. 4. – № 3. – С. 195.
3. Yurlova. M.S. Electric pulse consolidation: an alternative to spark plasma sintering / M.S. Yurlova. V.D. Demenvuk. L.Y. Lebedeva, D.V. Dudina, E.G. Grigoryev, E.A. Olevskiy // Journal of Materials Science. – 2014. – Т. 49. – № 3. – С. 952–985.

4. Troitskiy, O.A. Fizicheskiye osnovy i tekhnologii obrabotki sovremennykh materialov» (teoriva, tekhnologiya, struktura i svoystva) / O.A. Troitskiy, YU.V. Baranov, YU.S. Avraamov, A.D. Shlyapin. – Moskva–Izhevsk, monografiya t.I (590 str.) i t. II (467 str.). Izd–vo RKHD. ANO IKI (g. Izhevsk). 2004.
5. Samuylov, S.D. Elektrofizicheskiy metod briketirovaniya metallicheskoy struzhki / S.D. Samuylov. – LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken Germanv. 2011. – 136 s.
6. Puzakov, I.YU. Gazonasvshchenive toчек svarki pri briketirovanii titanovvkh splavov elektroimpulsnvm metodom / I.YU. Puzakov, M.A. Kornilova, S.D. Samuylov, A.D. Krestyaninov // Tekhnologiya logkikh splavov. – 2011. – № 1. – S. 98 – 107.
7. Abramova, K.B. Formirovaniye briketov iz otdelnykh metallicheskikh chastits i dielektrika. pod vozdeystviyem korotkikh impulsov elektricheskogo toka bolshov plotnosti / K.B. Abramova, YU.N. Bocharov, S.D. Samuylov. I.P. Shcherbakov // ZHTF. – 2001. – t. 71. – V. 4. – S 122 – 127.
8. Samuylov, S.D. Elektroimpulsnava ustanovka dlva briketirovaniya metallicheskikh otkhodov/ S.D. Samuylov. – LAP LAMBERT Academic Publishing. Saarbrücken Germanv. 2015. – 80 s.
9. Samuylov S.D., Krestvaninov D.A., Shcherbakov I.P. Patent na Poleznuvu model № 107723 «Ustroystvo dlya briketirovaniya metallicheskoy struzhki», data prioriteta 07.02.11., BI № 24 27.08.2011.
10. Samuylov S.D., Krestvaninov D.A., Shcherbakov I.P. Patent na Poleznuvu model № 147578 «Ustroystvo dlya briketirovaniya metallicheskoy struzhki», data prioriteta 07.03.14., BI № 31 10.11.2014.
11. Samuylov, S.D. Elektroimpulsnava tekhnologiya briketirovaniya struzhki i drugikh otkhodov chornyykh metallov/ S.D. Samuylov // Chornyye metallv. – 2009. – S 14 – 19.
12. Bocharov, YU.N. O vozmozhnosti ispolzovaniya elektrofizicheskoy tekhnologii briketirovaniya metallicheskoy struzhki dlva izotovleniya ligatur / YU.N., Bocharov, D.A. Krestvaninov, S.D. Samuylov, YU.A. Filin // Nauchno–tekhnicheskive vedomosti SPbGPU. – 2008. – № 6 (70). – S. 125 – 130.
13. Troitskiy, O.A. Svarka Pri Ubakovke Struzhechnyykh Otkhodov / O.A. Troitskiy, S.D. Samuylov // Svarka. Renovatsiya. Tribotekhnika. tezisy dokladov VII Uralskov nauchno–prakticheskoy konferentsii. FGAOU VPO «UrFU im. pervogo Prezidenta Rossii B.N. Yeltsina», Nizhnetagilskiy tekhnologicheskiy institut (filial). – 2015. – S. 148–152.
14. Troitskiy, O.A. Tekhnologiya devanadatsii chuguna s prisadkov sodержashchikh okalinu briketov na osnove stalnov struzhki / O.A. Troitskiy, S.D. Samuylov, V.F. Yudkin, V.V. Kashin, YU.D. Isupov // Aktualnyye problemy sovremennoy nauki. tekhniki i obrazovaniva. – 2015. – T. 1.1. – S. 73–76.
15. Ignatov, V.I. Poluchenive metallicheskikh poroshkov mekhanicheskim izmelcheniyem struzhki ili loma i poristvkh obratstvov elektroimpulsnvm metodom / V.I. Ignatov, A.A. Krasnov, K. Kostrov, A.YU. Silin, S.D. Samuylov // Tsvetnyye metallv. – 2010. – № 1. – S. 80–84.
16. Samuylov, S.D. Elektroimpulsnove kompaktirovaniye – perspektivnyy metod polucheniya poristvkh materialov/ S.D. Samuylov // Tekhnologiya metallov. – 2012. – № 9.
17. Samuylov, S.D. K voprosu o povedenii i ustovchivosti zhidkogo metalla v kvaziploskikh elektricheskikh kontaktakh/ S.D. Samuylov // ZHTF. – 2016. – T. 86. – V. 6. – S 17–33.
18. Samuilov, S.D. On the Behavior and Stability of a Liquid Metal in Quasi–planar Electric Contacts / S.D. Samuilov // Technical Physics. – 2016. – Vol. 61. – №. 6. – pp. 815–821.

**Samujlov Sergej Dmitrievich**

Fiziko–Tekhnicheskij Institut im. A.F. Ioffe, Rossiya,  
Sankt Peterburg.  
Kandidat tekhnicheskikh nauk, starshij nauchnyy sotrudnik.  
Ph.: (812)– 292–71–36, (911)–161–07–22  
E–mail: Sam.mhd@mail.ioffe.ru

**Troitskiy Oleg Aleksandrovich**

Institut mashinovedeniya im. A.A. Blagonravova RAN,  
Rossiya, Moskva,  
Doktor tekhnicheskikh nauk, glavnyy nauchnyy sotrudnik  
E–mail: o.a.troitskiy@rambler.ru

УДК 502.174:697.7

Е.В. БУРКОВА, Д.В. БУРКОВ

## АНАЛИЗ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПО НАКОПЛЕНИЮ И ПЕРЕДАЧЕ ТЕПЛОВОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

**Аннотация.** *Проведен математический анализ теплового режима бассейна карьера, представляющий собой тепловой аккумулятор, с использованием метода пространства переменных состояния. Представлена система теплоаккумулятора, в которой наблюдается увеличение скорости циркуляции жидкости с увеличением температуры.*

**Ключевые слова:** *солнечная энергия, сезонный аккумулятор, поток жидкости, плотность поглощенной энергии.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коваленко, В.С. Рекультивация нарушенных земель на карьерах / В.С. Коваленко, Р.М. Штейнцайг, Т.В. Голик. – М.: Горная книга, 2012. – 65 с.
2. Томаков, П.И. Экология и охрана природы при открытых горных работах / П.И. Томаков, В.С. Коваленко, А.М. Михайлов, А.Т.Калашников. – М.: Изд–во «МГТУ», 1994. – 418 с.
3. Макаров, В.В. Оценка возможности сезонного аккумулирования солнечной энергии в выработанных карьерах // Возобновляемая энергетика / В.В. Макаров, Е.В. Буркова – К.: ИВЭ НАН Украины. – 2008. – № 3. – С. 38–41.
4. Корн, Г. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1998. – 831 с.
5. Биркгоф, Г. Гидродинамика/ Г.М. Биркгоф. – М.: Иностранная литература, 1993. – 244 с.

6. Стырикович, М.А. Котельные агрегаты / М.А. Стырикович, К.Я. Катковская, Е.П. Серов. – М.: Госэнергоиздат, 1999. – 488 с.
7. Кутателадзе, С.С. Справочник по теплопередаче / С.С. Кутателадзе, В.М. Боришанский. – Л.: Госэнергоиздат, 1998. – 414 с.
8. Бекиров, Э.А., Алгоритм расчета и анализ естественной циркуляции в солнечном коллекторе / Э.А. Бекиров, Д.В. Каркач // Відновлювана енергетика. – 2013. – №1. – С. 21–28.
9. Муровская, А.С. Техническое решение по использованию отработанных карьеров для аккумуляции солнечной энергии с целью снижения антропогенного воздействия теплогенерирующих объектов / А.С. Муровская, Е.В. Буркова, Э.А. Бекиров, С.П. Муровский, Д.В. Бурков // Материалы международного форума «Возобновляемая энергетика: пути повышения энергетической и экономической эффективности». – Крым: Ялта. – 2015. – С. 164–170.
10. Муровская, А. Системный подход к проектированию комбинированных теплогенерирующих объектов на базе возобновляемых источников энергии в отработанных карьерах / Анна Муровская Сергей Муровский, Елена Буркова // American Journal of Science and Technologies. – 2016. – №1 (21). – С. 858–865.
11. Буркова, Е.В. Создание экологически безопасных энергоэффективных теплогенерирующих объектов при рекультивации карьеров / Е.В. Буркова, Д.В. Бурков // Системы контроля окружающей среды. – 2017. – № 8 (28). – С. 110–113.

**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

## OPERATION ANALYSIS OF A THERMAL SOLAR ENERGY ACCUMULATION AND TRANSFER SYSTEM

**Abstract.** *In this paper, we conduct a mathematical analysis of the thermal regime of the pit pool (a heat accumulator) using the method of state variables space. We present a system of a heat accumulator in which the speed of circulation of the liquid increases as the temperature rises.*

**Keywords:** *solar energy, seasonal accumulator, liquid flow, density of absorbed energy.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Kovalenko, V.S. Rekultivatsiya narushennykh zemel na karyerakh / V.S. Kovalenko, R.M. Shteyntsayg, T.V. Golik. – М.: Gornaya kniga, 2012. – 65 s.
2. Tomakov, P.I. Ekologiya i okhrana prirody pri otkrytykh gornykh rabotakh / P.I. Tomakov, V.S. Kovalenko, A.M. Mikhaylov, A.T. Kalashnikov. – М.: Izd-vo «MGGU», 1994. – 418 s.
3. Makarov, V.V. Otsenka vozmozhnosti sezonnogo akumulirovaniya solnechnoy energii v vyrabotannykh karyerakh // Vozobnovlyayemaya energetika / V.V. Makarov, Ye.V. Burkova – K.: IVE NAN Ukrainy. – 2008. – № 3. – С. 38–41.
4. Korn, G. Spravochnik po matematike / G. Korn, T. Korn. – М.: Nauka, 1998. – 831 s.
5. Birkhof, G. Gidrodinamika / G.M. Birkhof. – М.: Inostrannaya literatura, 1993. – 244 s.
6. Styrikovich, M.A. Kotelnyye agregaty / M.A. Styrikovich, K.YA. Katkovskaya, Ye.P. Serov. – М.: Gosenergoizdat, 1999. – 488 s.
7. Kutateladze, S.S. Spravochnik po teploperedache / S.S. Kutateladze, V.M. Borishanskiy. – Л.: Gosenergoizdat, 1998. – 414 s.
8. Bekirov, E.A., Algoritm rascheta i analiz yestestvennoy tsirkulyatsii v solnechnom kollektore / E.A. Bekirov, D.V. Karkach // Відновлювана енергетика. – 2013. – №1. – С. 21–28.
9. Murovskaya, A.S. Tekhnicheskoye resheniye po ispolzovaniyu otrabotannykh karyerov dlya akumulirovaniya solnechnoy energii s tselyu snizheniya antropogennoho vozdeystviya teplogeneriruyushchikh ob"yektov / A.S. Murovskaya, Ye.V. Burkova, E.A. Bekirov, S.P. Murovskiy, D.V. Burkov // Materialy mezhdunarodnogo foruma «Vozobnovlyayemaya energetika: puti povysheniya energeticheskoy i ekonomicheskoy effektivnosti». – Krym: Yalta. – 2015. – С. 164–170.
10. Murovskaya, A. Sistemnyy podkhod k proyektirovaniyu kombinirovannykh teplogeneriruyushchikh obyektov na baze vozobnovlyayemykh istochnikov energii v otrabotannykh karyerakh / Anna Murovskaya Sergey Murovskiy, Yelena Burkova // American Journal of Science and Technologies. – 2016. – №1 (21). – С. 858–865.
11. Burkova, Ye.V. Sozdaniye ekologicheskii bezopasnykh energoeffektivnykh teplogeneriruyushchikh obyektov pri rekultivatsii karyerov / Ye.V. Burkova, D.V. Burkov // Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy. – 2017. – № 8 (28). – С. 110–113.



## **ТЕХНОЛОГИИ И ИНСТРУМЕНТЫ**

УДК621:658.012:531

А.И. БОХОНСКИЙ, Е.С. ЧАЛАЯ

### **ДИНАМИЧЕСКИЕ ГАСИТЕЛИ КОЛЕБАНИЙ НЕЖЕСТКИХ ЗАГОТОВОК ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ**

**Аннотация.** *Изложены особенности моделирования и элементы конструирования пассивных динамических гасителей изгибно–крутильных колебаний нежестких заготовок при автоматической токарной обработке. Обращено внимание на использование активных (управляемых) динамических гасителей изгибно–крутильных колебаний нежестких заготовок.*

**Ключевые слова:** *нежесткие заготовки, токарная обработка, колебания заготовок, пассивные динамические гасители, управляемые динамические гасители.*

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Бернштейн, С.А. Основы динамики сооружений / С.А. Бернштейн. – Госстройиздат. М. – Л., 1938. – 160 с.
2. Коловский, М.З. Нелинейная теория виброзащитных систем / М.З. Коловский. – Изд-во «Наука», М., 1966. – 318 с.
3. Бидерман, В.Л. Прикладная теория механических колебаний / В.Л. Бидерман. – Изд-во «Высшая школа», М., 1972. – 416 с.
4. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. – М.: Машиностроение. Т.6. Защита от вибраций и ударов/ под ред. К.В. Фролова, 1981. – 456 с.
5. Яблонский, А.А. Курс теории колебаний / А.А. Яблонский, С.С. Норейко. – Изд-во «Высшая школа», М., 1975. – 248 с.
6. Коловский, М.З. Автоматическое управление виброзащитными системами / М.З. Коловский. – Изд-во «Наука», М., 1976. – 320 с.
7. Фролов, К.В. Прикладная теория виброзащитных систем / К.В. Фролов, Ф.А. Фурман. – М.: Машиностроение, 1980. – 276 с.
8. Елисеев, С.В. Динамические гасители колебаний / С.В. Елисеев, Г.П. Нерубенко. Изд-во «Наука», Новосибирск, 1982. – 144 с.
9. Справочник проектировщика. Динамический расчет зданий и сооружений/ Под ред. Б.Г. Коренева, И.М. Рабиновича. – М.: Стройиздат, 1984. – 303 с.
10. Генкин, М.Д. Методы управляемой виброзащиты машин / М.Д. Генкин, В.Г. Елезов, В.В. Яблонский. – М. Изд-во «Наука», 1985. – 240 с.
11. Коренев, Б.Г. Динамические гасители колебаний. Теория и технические приложения / Б.Г. Коренев, Л.М. Резников. М., Изд-во «Наука», 1988. – 304 с.
12. Божко, А.Е. Пассивная и активная виброзащита судовых механизмов / А.Е. Божко, А.Ф. Голь, А.П. Гуров, Г.П. Нерубенко. – Л. Судостроение, 1987. – 176 с.
13. Бохонский, А.И. Динамический гаситель изгибных колебаний стержня / А.И. Бохонский, А.Н. Вахмянин // Научные труды факульт. естественных наук. Вып.1, СПИ. – Севастополь. – 1993. – С. 48–52.
14. Бохонский, А.И. Динамический гаситель крутильных колебаний нежесткой заготовки при токарной обработке / А.И. Бохонский, Е.С. Елькина //Автоматизация проектирования в машиностроении. Материалы международной заочной научно–практической конференции. – Новокузнецк. НИИ МС. – 2016. – № 4. – С.68–71.
15. Бохонский, А.И. Управление деформированием нежестких деталей при токарной обработке/ А.И. Бохонский, А.Н. Вахмянин. – Севастополь: Изд-во СевГТУ, 1999. – 240с.
16. Братан, С.М. Автоматическое управление процессами механической обработки: учебник / С.М. Братан, Е.А. Левченко, Н.И. Покинтелица, А.О. Харченко. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2017. – 228 с.

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь  
Доктор технических наук, профессор кафедры  
Технической механики и машиноведения  
E-mail: bohon.alex@mail.ru

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь  
аспирант кафедры Технической механики и  
машиноведения  
E-mail: elenasergeevnae@mail.ru

A.I. BOHONSKY, E.S. CHALAYA

## **DYNAMIC DAMAINS OF VIBRATIONS OF HEAVY ARTICLES IN TURNING PROCESSING**

**Abstract.** *The foundations of modeling and elements of the design of passive dynamic absorbers of flexural-torsional oscillations of nonrigid blanks under automatic turning are expounded. Attention is drawn to the possibility of using active (controlled) dynamic vibration dampers.*

**Keywords:** *nonrigid blanks, turning, oscillations of blanks, passive dynamic dampers, controlled dynamic dampers.*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Bernshteyn, S.A. Osnovy dinamiki sooruzheniy / S.A. Bernshteyn. – Gosstroyizdat. M. – L., 1938. – 160 s.
2. Kolovskiy, M.Z. Nelineynaya teoriya vibrozashchitnykh sistem / M.Z. Kolovskiy. – Izd-vo «Nauka», M., 1966. – 318 s.
3. Biderman, V.L. Prikladnaya teoriya mekhanicheskikh kolebaniy / V.L. Biderman. – Izd-vo «Vysshaya shkola», M., 1972. – 416 s.
4. Vibratsii v tekhnike: Spravochnik. V 6-ti t. – M.: Mashinostroyeniye. T.6. Zashchita ot vibratsiy i udarov/ pod red. K.V. Frolova, 1981. – 456 s.
5. Yablonskiy, A.A. Kurs teorii kolebaniy / A.A. Yablonskiy, S.S. Noreyko. – Izd-vo «Vysshaya shkola», M., 1975. – 248 s.
6. Kolovskiy, M.Z. Avtomaticheskoye upravleniye vibrozashchitnymi sistemami / M.Z. Kolovskiy. – Izd-vo «Nauka», M., 1976. – 320 s.
7. Frolov, K.V. Prikladnaya teoriya vibrozashchitnykh sistem / K.V. Frolov, F.A. Furman. – M.: Mashinostroyeniye, 1980. – 276 s.
8. Yeliseyev, S.V. Dinamicheskiye gasiteli kolebaniy / S.V. Yeliseyev, G.P. Nerubenko. Izd-vo «Nauka», Novosibirsk, 1982. – 144 s.
9. Spravochnik proyektirovshchika. Dinamicheskiy raschet zdaniy i sooruzheniy/ Pod red. B.G. Koreneva, I.M. Rabinovicha. – M.: Stroyizdat, 1984. – 303 s.
10. Genkin, M.D. Metody upravlyayemoy vibrozashchity mashin / M.D. Genkin, V.G. Yelezov, V.V. Yablonskiy. – M. Izd-vo «Nauka», 1985. – 240 s.
11. Korenev, B.G. Dinamicheskiye gasiteli kolebaniy. Teoriya i tekhnicheskiye prilozheniya / B.G. Korenev, L.M. Reznikov. M., Izd-vo «Nauka», 1988. – 304 s.
12. Bozhko, A.Ye. Passivnaya i aktivnaya vibrozashchita sudovykh mekhanizmov / A.Ye. Bozhko, A.F. Gol, A.P. Gurov, G.P. Nerubenko. – L. Sudostroyeniye, 1987. – 176 s.
13. Bokhonskiy, A.I. Dinamicheskiy gasitel izgibnykh kolebaniy sterzhnya / A.I. Bokhonskiy, A.N. Vakhmyanin // Nauchnyye trudy fakult. yestestvennykh nauk. Vyp.1, SPI. – Sevastopol. – 1993. – S. 48–52.
14. Bokhonskiy, A.I. Dinamicheskiy gasitel krutilnykh kolebaniy nezhestkoy zagotovki pri tokarnoy obrabotke / A.I. Bokhonskiy, Ye.S. Yelkina //Avtomatizatsiya proyektirovaniya v mashinostroyenii. Materialy mezhdunarodnoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Novokuznetsk. NII MS. – 2016. – № 4. – S.68–71.
15. Bokhonskiy, A.I. Upravleniye deformirovaniyem nezhestkikh detaley pri tokarnoy obrabotke/ A.I. Bokhonskiy, A.N. Vakhmyanin. – Sevastopol: Izd-vo SevGTU, 1999. – 240s.
16. Bratan, S.M. Avtomaticheskoye upravleniye protsessami mekhanicheskoy obrabotki: uchebnik / S.M. Bratan, Ye.A. Levchenko, N.I. Pokintelitsa, A.O. Kharchenko. – M.: Vuzovskiy uchebnik: INFRA-M, 2017. – 228 s.

**Bokhonsky Alexander Ivanovich**  
FGAOU VO «Sevastopol State University»,  
City of Sevastopol  
Doctor of Technical Sciences, Professor of the  
Department of Technical Mechanics and Machine science  
E-mail: bohon.alex@mail.ru

**Chalaya Elena Sergeevna**  
FGAOU VO «Sevastopol State University»,  
G. Sevastopol  
Post-graduate student of the Department of Technical  
Mechanics and Engineering  
E-mail: alenenkin@yandex.ru

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИТИЧЕСКОГО И ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

**Аннотация.** В данной статье построена имитационная модель функционирования технической системы с учетом проведения профилактического обслуживания, служащая для верификации вероятностно-аналитической модели, построенной на основе метода траекторий, используемого для моделирования полумарковских систем. Приведены аналитические выражения, полученные с использованием метода траекторий, правильность которых необходимо оценить. Выполнен ряд экспериментов, позволяющий определить коэффициент готовности такой системы в целом. Проведена верификация вероятностно-аналитической модели, для чего выполнено сравнение результатов имитационного и аналитического моделирования, подтвердившее правильность построения математической модели.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, верификация модели, стохастическая система, математическое ожидание, дисперсия.

*Исследования выполнены при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 15-01-05840.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копп, В.Я. 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
2. Советов, Б.Я. Моделирование систем: Курсовое проектирование: Учеб. пособие для вузов по спец. АСУ / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высш. шк., 1988. – 135 с.
3. Томашевский, В.Н. Имитационное моделирование в среде GPSS / В.Н. Томашевский, Е.Г. Жданова. – М.: Бестселлер, 2003. – 416 с.
4. Шрайбер, Т.Дж. Моделирование на GPSS / Т.Дж. Шрайбер; [пер. с англ. В.И. Гарчера, И.Л. Шмуйловича]; под ред. М.А. Файнберг. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
5. Королук, В.С. Математические основы фазового укрупнения сложных систем / В.С. Королук, А.Ф. Турбин. – Киев: Наукова думка, 1978. – 217 с.
6. Королук, В.С. Стохастические модели систем / В.С. Королук. – Киев: Наук. думка, 1989. – 208 с.
7. Королук, В.С. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем / В.С. Королук, А.Ф. Турбин. – Киев: Наук. думка, 1982. – 236 с.
8. Zamoryonov, M.V. Simulation of a single-component system using the trajectories method taking into account the scheduling preventive maintenance / M.V. Zamoryonov, V.Ya. Kopp, O.V. Chengar, Yu.L. Rapatskiy // 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.

**Заморёнов Михаил Вадимович**

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь

Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и компьютерных систем

299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

Тел. (8692)–435137

E-mail: zamoryonoff@gmail.com

---

M.V. ZAMORYONOV

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESULTS OF THE ANALYTIC AND IMITATIVE MODELLING OF THE PROCESS OF THE FUNCTIONING OF THE TECHNICAL SYSTEM WITH THE ACCOUNT OF PREVENTION OF PREVENTIVE MAINTENANCE

**Abstract.** In this article, a simulation model for the operation of a technical system has been constructed, taking into account the provision of preventive maintenance, which serves to verify a probabilistic analytical model based on the trajectory method used to model semi-Markov systems. Analytical expressions obtained using the method of trajectories, the correctness of which must be evaluated, are given. A number of experiments have been performed to determine the availability of such a system as a whole. Verification of the probabilistic analytical model was carried

out, comparing the results of simulation and analytical modeling, which confirmed the correctness of constructing a mathematical model.

**Keywords:** simulation modeling, model verification, stochastic system, mathematical expectation, variance modeling.

## BIBLIOGRAPHY

1. Копп. V.YA. Ispolzovanie metoda travektoriv dlva postroveniva polumarkovskov modeli strukturv «tehnologicheskava yachevka – nakopitel». V.YA. Копп, M.V. Zamoronov, YU.Ye. Obzherin, M.YU. Larin // Nauchno–tehnicheskive vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekomunikatsii. Upravleniye №3(247). Sankt–Peterburg: Izdatelstvo Politehnicheskogo universiteta. – 2016. – S. 23–34
2. Sovetov. B.YA. Modelirovaniye sistem: Kursovove provektirovaniye: Ucheb. posobiye dlya vuzov po spets. ASU / B.YA. Sovetov, S.A. Yakovlev. – M.: Vyssh. shk., 1988. – 135 s.
3. Tomashevskiy. V.N. Imitatsionnoye modelirovaniye v srede GPSS / V.N. Tomashevskiy, E.G. Zhdanova. – M.: Bestseller. 2003. – 416 s.
4. Shrayber. T.Dzh. Modelirovaniye na GPSS / T.Dzh. Shrayber: [per. s angl. V.I. Garchera, I.L. Shmuylovichal: pod red. M.A. Favnberg. – M.: Mashinostrovenive. 1980. – 592 s.
5. Korolvuk. V.S. Matematicheskive osnovy fazovogo ukрупneniya slozhnykh sistem / V.S. Korolvuk, A.F. Turbin. – Kievev: Naukova dumka. 1978. – 217 s.
6. Korolvuk. V.S. Stokhasticheskive modeli sistem / V.S. Korolvuk. – Kievev: Nauk. dumka. 1989. – 208 s.
7. Korolvuk. V.S. Protsessy markovskogo vosstanovleniya v zadachakh nadezhnosti sistem/ V.S. Korolvuk, A.F. Turbin. – Kievev: Nauk. dumka. 1982. – 236 s.
8. Zamorvonov. M.V. Simulation of a single–component svstem using the traiectories method taking into account the scheduling preventive maintenance / M.V. Zamorvonov. V.Ya. Копп, O.V. Chengar, Yu.L. Rapatskiy // Cybernetics and Mathematics Applications in Intelligent Svstems Proceedings of the 6th Computer Science On–line Conference 2017 (CSOC2017), Vol 2 / Springer International Publishing Switzerland. – 2017. – P. 264–271.

### Zamoryonov Mikhail Vadimovich

Federal State Autonomous educational institution «Sevastopol state University», Sevastopol

Candidate of technical Sciences, associate Professor, Department of information technology and computer systems 299053, Sevastopol, Universitetskaya street,33

Тел. (8692)–435137

E–mail: zamoryonoff@gmail.com

УДК 629.5.062:621.565.952

С.Н. ТКАЧ

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАБОРТНЫХ ОХЛАДИТЕЛЕЙ СУДОВЫХ ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ

**Аннотация.** По выбранному показателю эффективности выполнена оценка технических характеристик забортных охладителей в области эксплуатационных режимов в условиях стоянки судна. Проведены теплотехнические экспериментальные исследования охладителя в составе замкнутой системы охлаждения дизеля. Методами статистического анализа экспериментальных данных получены уравнения регрессии, описывающие зависимость удельной эффективности теплообмена от ряда конструктивных и эксплуатационных факторов. Построены теплотехнические характеристики и выбраны оптимальные режимы работы забортных охладителей, для которых характерны высокие показатели эффективности теплообмена в условиях свободной конвекции к забортной воде.

**Ключевые слова:** забортный охладитель, система охлаждения дизеля, эффективность теплообмена, свободная конвекция, теплотехническая характеристика.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bloksma heat exchangers. Working drawing for box cooler. Bloksma b.v, 2006. – P.31.
2. Инструкция по установке и техническому обслуживанию судовых охладителей с U–образными трубками производства компании Blokland. Blokland Non Ferro B.V, 2013. – 20 с.
3. Орлова Е.Г. Проблема оценки эффективности судовых систем охлаждения с забортными охладителями / Е.Г. Орлова, В.К. Шурпяк // Науч.–техн. сборник Российского морского регистра судоходства. – 2008. – Вып. 31. – С.245 – 259.
4. ГОСТ Р 51749–2001. Энергосбережение. Энергопотребляющее оборудование общепромышленного применения. Виды. Типы. Группы. Показатели энергетической эффективности. Идентификация. – М: Изд–во стандартов, 2001. – 27 с.

5. OST B5.4279–84. Комплексная система контроля качества. Общая морская техника. Аппараты теплообменные. Типовая программа стендовых испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 21 с.
6. Бажан П.И. Справочник по теплообменным аппаратам / П.И. Бажан, Г.Е. Каневец, В.М. Селиверстов. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.
7. Данилова Г.Н. Теплообменные аппараты холодильных установок / Г.Н. Данилова, С.Н. Богданов, О.П. Иванов и др. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986. – 303 с.
8. Ткач С.Н. Теплообмен пучков U-образных труб в условиях свободной конвекции / С.Н. Ткач // Вестник СевНТУ. Сер. Механика, энергетика, экология: сб. науч. тр. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2014. – Вып. 148. – С.134–138.

**Ткач Сергей Николаевич**

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Старший преподаватель кафедры Энергоустановок морских судов и сооружений

ул. Университетская 33, г. Севастополь, 299053

Тел. 8(692) 54–30–86

E-mail: sntkach@mail.ru

---

S.N. TKACH

## EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE BOX COOLERS MARINE CLOSED COOLING SYSTEMS

**Abstract.** *On the selected performance indicator evaluated the technical characteristics of the box coolers in the area of operational modes in terms of Parking of a vessel. Conducted thermal experimental study of a cooling structure of a closed-loop cooling system of the diesel engine. Methods of statistical analysis of experimental data the regression equations describing the dependence of the efficiency of heat transfer from a number of design and operational factors. Built thermal performance and optimal modes of operation of box coolers, which are characterized by high indicators of efficiency of heat transfer under free convection to outboard water.*

**Keywords:** *box cooler, the cooling system of a diesel engine, efficiency of heat transfer, free convection, thermal characteristics*

### BIBLIOGRAPHY

1. Bloksma heat exchangers. Working drawing for box cooler. Bloksma b.v, 2006. – P.31.
2. Instrukcija po ustanovke i tehničeskomu obsluživaniju sudovih ohladitelej s U-obraznymi trubkami proizvodsta kompanii Blokland. Blokland Non Ferro B.V, 2013. – 20 с.
3. Orlova E.G. Problema ocenki jeffektivnosti sudovih sistem ohlazhdenija s zabornymi ohladiteljami / E.G. Orlova, V.K. SHurpjak // Nauch. –tehn. sbornik Rossijskogo morskogo registra sudohodstva. – 2008. – Vyp. 31. – S.245 – 259.
4. GOST R 51749–2001. JEnergosberezhenie. JEnergopotrebljajushhee oborudovanie obshhepromyshlennogo primenenija. Vidy. Tipy. Gruppy. Pokazateli jenergetičeskoj jeffektivnosti. Identifikacija. – M: Izd-vo standartov, 2001. – 27 s.
5. OST V5.4279–84. Kompleksnaja sistema kontrolja kachestva. Obshhaja morskaja tehnika. Apparaty teploobmennye. Tipovaja programma stendovih ispytanij. – M.: Izd-vo standartov, 1984. – 21 с.
6. Bazhan P.I. Spravochnik po teploobmennym apparatam / P.I. Bazhan, G.E. Kanevec, V.M. Seliverstov. – M.: Mashinostroenie, 1989. – 368 s.
7. Danilova G.N. Teploobmennye apparaty holodilnih ustanovok / G.N. Danilova, S.N. Bogdanov, O.P. Ivanov i dr. – L.: Mashinostroenie. Leningr. otd-nie, 1986. – 303 s.
8. Tkach S.N. Teploobmen puchkov U-obraznyh trub v uslovijah svobodnoj konvekcii / S.N. Tkach // Vestnik SevNTU. Ser. Mehanika, jenergetika, jekologija: sb. nauch. tr. – Sevastopol: Izd-vo SevNTU, 2014. – Vyp. 148. – S.134–138.

**Tkach Sergey Nikolaevich**

Sevastopol State University

Senior Lecturer of the Department of Power plants of marine vessels and structures  
st. University 33, Sevastopol, 299053  
Ph. 8(692) 54–30–86  
E-mail: sntkach@mail.ru

УДК 629.5:629.12

Д.А. ТОКАРЕВ

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕЧЕНИЯ ИМПАКТНЫХ СТРУЙ В ТЕПЛООБМЕННЫХ УСТРОЙСТВАХ**

***Аннотация.** Рассмотрена оптимизация теплообменного аппарата с интенсификацией теплоотдачи путем разрушения пристеночного слоя импактными струями. Применен экран, формирующий течение жидкости. Проведено компьютерное моделирование течения жидкости в исследуемом теплообменном аппарате.*

**Ключевые слова:** *Замкнутые системы охлаждения, импактные струи, интенсификация теплообмена, спиральный канал течения, моделирование течения жидкости.*

*Работа выполнена в рамках исследовательской работы лаборатории «Эффективных энергетических установок и технологий» кафедры Энергоустановок морских судов и сооружений.*

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Теплопередача: учеб. для студ. вузов, обуч. по напр. подготовки «Мор. и речной трансп.» / К. Ю. Федоровский – Севастополь: Изд-во Севастоп. нац. техн. ун-та, 2012. – 304 с.
2. Middelberg G., Herwig H. Convective Heat Transfer under Unsteady Impinging Jets: The Effect of the Shape of the Unsteadiness // Heat Mass Transfer. – 2009. – V. 45. – P. 1519–1532.
3. Юдаев Б.Н. Теплообмен при взаимодействии струи с преградами / Б.Н. Юдаев, М.С. Михайлов, В.К. Савин. – М.: Машиностроение, 1977. – 248 с.
4. Федоровский К.Ю. Устройства и системы охлаждения энергетических установок морских технических средств: Дис... д-ра техн. наук: 05.08.05. / Федоровский Константин Юрьевич. – Севастополь, 1991. – 347 с.
5. Роуч П. Вычислительная гидродинамика / П. Роуч – М.: Мир, 1980. – 618 с.
6. Теплопередача: учеб. для студ. вузов, обуч. по напр. подготовки «Мор. и речной трансп.» / К. Ю. Федоровский – Севастополь: Изд-во Севастоп. нац. техн. ун-та, 2012. – 304 с.
7. Бузник В.М. Интенсификация теплообмена в судовых установках / В.М. Бузник. – Л.: Судостроение, 1969. – 364 с.
8. Федоровский К.Ю. Эффективность газожидкостной интенсификации теплоотвода системы охлаждения судовой энергетической установки / К.Ю. Федоровский, В.В. Ениватов // Сб. науч. тр. Севаст. национ. ун-т ядерной энергетики и промышленности. – Севастополь. – 2010. – Вып. 4. – № 36. – С. 233 – 240.
9. Molana M., Banooni S. Investigation of heat transfer processes involved liquid impingement jets // Braz. J. Chem. Eng. V.30 no.3 São Paulo July/Sept. – 2013.
10. Silk E. A., Kim J., Kiger K. Spray Cooling of Enhanced Surfaces: Impact of Structured Surface Geometry and Spray Axis Inclination // Int. J. of Heat and Mass Transfer. – Vol. 49. – pp. 4910 – 4920.
11. Fitzgerald, J. A., Garimella, S. V., A study of the flow field of a confined and submerged impinging jet // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 1998. – V. 41 – pp. 1025 – 1034.

**Токарев Денис Александрович**

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь  
Кандидат технических наук, доцент кафедры Энергоустановок морских судов и сооружений  
299053, Севастополь, ул. Университетская, 33  
тел: +7 (8692) 54–30–86  
E-mail: tdanis@yandex.ru

---

D.A. TOKAREV

## **OPTIMIZATION FLOW OF IMPACT JETS IN HEAT EXCHANGER DEVICES**

**Abstract.** Optimization of the heat exchanger with intensification of heat transfer by destroying the wall layer by impact jets is considered. A screen is used to form the flow of liquid. Computer simulation of the flow of liquid present.

**Keywords:** Closed cooling systems, impact jets, heat transfer intensification, spiral flow channel, fluid flow simulation.

## BIBLIOGRAPHY

1. Teploperedacha: ucheb. dlya stud. vuzov, obuch. po napr. podgotovki «Mor. i rechnoy transp.» / K. YU. Fedorovskiy – Sevastopol: Izd-vo Sevastop. nats. tekhn. un-ta, 2012. – 304 s.
2. Middelberg G., Herwig H. Convective Heat Transfer under Unsteady Impinging Jets: The Effect of the Shape of the Unsteadiness // Heat Mass Transfer. – 2009. – V. 45. – P. 1519–1532.
3. Yudayev B.N. Teploobmen pri vzaimodeystvii strui s pregradami / B.N. Yudayev, M.S. Mikhaylov, V.K. Savin. – M.: Mashinostroyeniye, 1977. – 248 s.
4. Fedorovskiy K.YU. Ustroystva i sistemy okhlazhdeniya energeticheskikh ustanovok morskikh tekhnicheskikh sredstv: Dis... d-ra tekhn. nauk: 05.08.05. / Fedorovskiy Konstantin Yuryevich. – Sevastopol, 1991. – 347 s.
5. Rouch P. Vychislitel'naya gidrodinamika / P. Rouch – M.: Mir, 1980. – 618 s.
6. Teploperedacha: ucheb. dlya stud. vuzov, obuch. po napr. podgotovki «Mor. i rechnoy transp.» / K. YU. Fedorovskiy – Sevastopol: Izd-vo Sevastop. nats. tekhn. un-ta, 2012. – 304 s.
7. Buznik V.M. Intensifikatsiya teploobmena v sudovykh ustanovkakh / V.M. Buznik. – L.: Sudostroyeniye, 1969. – 364 s.
8. Fedorovskiy K.YU. Effektivnost gazozhidkostnoy intensifikatsii teplootvoda sistemy okhlazhdeniya sudovoy energeticheskoy ustanovki / K.YU. Fedorovskiy, V.V. Yenivatov // Sb. nauch. tr. Sevast. natsion. un-t yadernoy energetiki i promyshlennosti. – Sevastopol. – 2010. – Вып. 4. – № 36. – S. 233 – 240.
9. Molana M., Banooni S. Investigation of heat transfer processes involved liquid impingement jets // Braz. J. Chem. Eng. V.30 no.3 São Paulo July/Sept. – 2013.
10. Silk E. A., Kim J., Kiger K. Spray Cooling of Enhanced Surfaces: Impact of Structured Surface Geometry and Spray Axis Inclination // Int. J. of Heat and Mass Transfer. – Vol. 49. – pp. 4910 – 4920.
11. Fitzgerald, J. A., Garimella, S. V., A study of the flow field of a confined and submerged impinging jet // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 1998. – V. 41 – pp. 1025 – 1034.

### **Tokarev Denis Aleksandrovich**

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Sevastopol State University», Sevastopol  
Ph.D., Associate professor of the department «Power installations of sea vessels and structures»  
299053, Sevastopol, Universitetskaya, 33  
Ph.: +7 (8692) 54–30–86  
E-mail: tdanis@yandex.ru

УДК 628.11

Н.К. ФЕДОРОВСКАЯ

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНАЯ СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ЭНЕРГОУСТАНОВОК**

**Аннотация.** Исследован механизм воздействия на биоресурсы морей и континентальных водоемов водопотребляющих систем охлаждения энергоустановок морских платформ и тепловых электростанций. Показано, что при этом наиболее сильно страдает планктон, являющийся основой пищевой цепочки в водоеме. Предложено использовать замкнутые системы охлаждения, исключая потребление воды. При этом применяются погруженные в водоем пластинчатые устройства теплоотвода. Определена их тепловая эффективность. Показано, что для снижения массогабаритных показателей этих устройств могут быть использованы газожидкостные струи, которые увеличивают коэффициенты теплоотдачи в 8...20 раз. В результате создаются условия для широкого внедрения замкнутых систем охлаждения в практику.

**Ключевые слова:** биоресурсы морей, планктон, энергоустановки, система охлаждения, теплообменные аппараты.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Махоров, В. Сургутская ГРЭС-2 – самая мощная тепловая электростанция в России. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://energysmi.ru/news/1601-surgutskaya-gres-2-samaya-moschnaya-teplovaya-elektrostantsiya-v-rossii.html>. (дата обращения 11.01.2017).
2. Steve Fleischli & Becky Hayat. Power Plant Cooling and Associated Impacts: The Need to Modernize U.S. Power Plants and Protect Our Water Resources and Aquatic Ecosystems. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/0d37/6134c33f7cdcdce4a8acd3e127161201a0d9.pdf> (дата обращения 15.01.2017).
3. Техническое водоснабжение ТЭС. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://plysh.narod.ru/11.htm>. (дата обращения 23.08.2016).
4. Гарбаренко О.К., Каплин И.В. оснащение водозаборов морских нефтегазодобывающих платформ рыбозащитными устройствами. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://helion-ltd.ru/s-m-part-2/3713-2009-10-14-18-33-05/> (дата обращения 31.01.2016).
5. Краткая историческая экология. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://helpiks.org/6-1866.html> (дата обращения 12.08.2016).
6. Киселев, И.А. Планктон морей и континентальных водоемов / И.А. Киселев. – Л.: Наука, 1980. – 1100 с.
7. Michael Durham. Salmoni. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://animalinelmondo.wordpress.com/tag/salmon/> (дата обращения 03.04.2016).
8. Гарбаренко, О.К. Технические Решения Рыбоохранных Мероприятий / О.К. Гарбаренко, И.В. Каплин // Нефть и газ арктического шельфа – 2008: Материалы международной конференции/ Мурманск, 12–14 ноября. Мурманск: ММБИ КНЦ РАН. – 2008. – С. 82–87.
9. Ващинников, А.Е. Новые направления в разработке сетчатых рыбозащитных устройств / А.Е. Ващинников, А.А. Васильев, К.В. Илюшин, В.Д. Шульгин // Материалы докладов 4-й Всероссийской конференции с международным участием, Борок, Россия. – Москва, Акварос. – 2010. – С. 9–11.
10. Михайлов, Н.Н. Поведение рыб в зоне работы жалюзийных рыбозащитных устройств / Н.Н. Михайлов, С.Н. Салиенко // Материалы докладов 4-й Всероссийской конференции с международным участием. 19–21 октября 2010, Борок, Россия/ –Москва, Акварос. – 2010. – С. 258–263.
11. Speight, Martin R. Marine Ecology: Concepts and Applications / Martin R. Speight, Peter A. Henderson. – Wiley–Blackwell, 2013. – 272 p.
12. Issues and environmental impacts associated with once-through cooling at California's coastal power plants California/ Energy commission, Staff Report, June 2005 CEC–700–2005–013. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.energy.ca.gov/2005publications/CEC-700-2005-013/CEC-700-2005-013.PDF> (дата обращения 15.01.2017).
13. How power plants kill fish & damage our waterways. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://vault.sierraclub.org/.../2011-08-fish-blenders.pdf> (дата обращения 17.01.2017).
14. Предварительные материалы по оценке воздействия на окружающую среду эксплуатации энергоблока 2 и 3 Калининской АЭС на мощности реакторной установки 104% от номинальной. – ООО «Гидротехпроект» Тверь, 2013. – 333 с.
15. Звягинцев, А.Ю. Морские техноэкосистемы энергетических станций / А.Ю. Звягинцев, А.В. Мощенко. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 343 с.
16. Kari Lydersen. Power plant cooling rules aim to reduce fish kills. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://midwestenergynews.com/2011/05/03/power-plant-cooling-rules-aim-to-reduce-fish-kills/> (дата обращения 16.01.2017).
17. Vlad Dorjets. Many newer power plants have cooling systems that reuse water. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=14971> (дата обращения 16.01.2017).
18. Федоровский, К.Ю. Замкнутые системы охлаждения судовых энергетических установок / К.Ю. Федоровский, Н.К. Федоровская. – Москва: ИНФРА-М, 2017. – 163 с.
19. Федоровский, К.Ю. Природоохранная технология обеспечения охлаждения судовой энергетической установки. / К.Ю. Федоровский, Н.К. Федоровская //Сборник научных трудов профессорско-преподавательского состава Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова: сб. науч. ст. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова. – 2016. – С.356–362
20. Федоровский, К.Ю. Исследование теплопередачи в экологически безопасных системах охлаждения энергоустановок морских объектов / К.Ю. Федоровский, Н.К. Федоровская, В.А. Тимофеев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2016. – № 3–4. – С.82–88.

### **Федоровская Надежда Константиновна**

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

научный сотрудник лаборатории эффективных энергетических технологий и установок

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

Тел.: +79787096536

E-mail: n.fedorovskaya14@mail.ru



## ECOLOGICALLY SAFE SYSTEM FOR COOLING POWER PLANTS

**Abstract.** *The mechanism of the impact on biological resources of the seas and inland bodies of water of water-cooling systems of power plants a wide range of objects: ships, offshore platforms and thermal power plants. It is shown that in this case the most severely affected plankton, which is the basis of the food chain in the pond. It is proposed to use a closed cooling system, eliminating the consumption of water. Examples of such systems. It uses submerged in a pond different heat removal device. Their efficiency is relatively low because the heat transfer is carried out in a stationary water in a free convection. To improve the effectiveness of the proposed to use liquid-gas jet. The investigations and obtained.*

**Keywords:** *the biological resources of the seas, plankton, plants, cooling systems, heat exchangers.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Makhorov, V. Surgutskaya GRES-2 – samaya moshchnaya teplovaya elektrostantsiya v Rossii. [Elektronnyy resurs] Rezhim dostupa: <http://energysmi.ru/news/1601-surgutskaya-gres-2-samaya-moschnaya-teplovaya-elektrostantsiya-v-rossii.html>. (data obrashcheniya 11.01.2017).
2. Steve Fleischli & Becky Hayat. Power Plant Cooling and Associated Impacts: The Need to Modernize U.S. Power Plants and Protect Our Water Resources and Aquatic Ecosystems. [Elektronnyy resurs] Rezhim dostupa: <https://pdfs.semanticscholar.org/0d37/6134c33f7cdcce4a8acd3e127161201a0d9.pdf> (data obrashcheniya 15.01.2017).
3. Tekhnicheskoye vodosnabzheniye TES. [Elektronnyy resurs] Rezhim dostupa: <http://plysh.narod.ru/11.htm>. (data obrashcheniya 23.08.2016).
4. Garbarenko O.K., Kaplin I.V. osnashcheniye vodozaborov morskikh nefgazodobyvayushchikh platform rybozashchitnymi ustroystvami. [Elektronnyy resurs] Rezhim dostupa: <http://helion-ltd.ru/s-m-part-2/3713-2009-10-14-18-33-05/> (data obrashcheniya 31.01.2016).
5. Kratkaya istoricheskaya ekologiya. [Elektronnyy resurs] Rezhim dostupa: <http://helpiks.org/6-1866.html> (data obrashcheniya 12.08.2016).
6. Kiselev, I.A. Plankton morey i kontinentalnykh vodoyemov / I.A. Kiselev. – L.: Nauka, 1980. – 1100 s.
7. Michael Durham. Salmoni. [Elektronnyy resurs] Rezhim dostupa: <https://animalinelmondo.wordpress.com/tag/salmon/> (data obrashcheniya 03.04.2016).
8. Garbarenko, O.K. Tekhnicheskiye Resheniya Rybookhrannykh Meropriyatiy / O.K. Garbarenko, I.V. Kaplin // Neft i gaz arkticheskogo shelfa – 2008: Materialy mezhdunarodnoy konferentsii/ Murmansk, 12–14 noyabrya. Murmansk: MMBI KNTS RAN. – 2008. – S. 82–87.
9. Vashchinnikov, A.Ye. Novyye napravleniya v razrabotke setchatykh rybozashchitnykh ustroystv / A.Ye. Vashchinnikov, A.A. Vasilyev, K.V. Ilyushin, V.D. Shulgin // Materialy dokladov 4-y Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, Borok, Rossiya. – Moskva, Akvaros. – 2010. – S. 9–11.
10. Mikhaylov, N.N. Povedeniye ryb v zone raboty zhalyuziynykh rybozashchitnykh ustroystv / N.N. Mikhaylov, S.N. Saliyenko // Materialy dokladov 4-y Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. 19–21 oktyabrya 2010, Borok, Rossiya/ – Moskva, Akvaros. – 2010. – S. 258–263.
11. Speight, Martin R. Marine Ecology: Concepts and Applications / Martin R. Speight, Peter A. Henderson. – Wiley–Blackwell, 2013. – 272 p.
12. Issues and environmental impacts associated with once-through cooling at Californias coastal power plants California/ Energy commission, Staff Report, June 2005 CEC-700-2005-013. [Elektronnyy resurs] Rezhim dostupa: <http://www.energy.ca.gov/2005publications/CEC-700-2005-013/CEC-700-2005-013.PDF> (data obrashcheniya 15.01.2017).
13. How power plants kill fish & damage our waterways. [Elektronnyy resurs] Rezhim dostupa: <https://vault.sierraclub.org/.../2011-08-fish-blenders.pdf> (data obrashcheniya 17.01.2017).
14. Predvaritelnyye materialy po otsenke vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu ekspluatatsii energobloka 2 i 3 Kalininskoy AES na moshchnosti reaktornoy ustanovki 104% ot nominalnoy. – OOO «Gidrotekhproyekt» Tver, 2013. – 333 s.
15. Zvyagintsev, A.YU. Morskiye tekhnokosistemy energeticheskikh stantsiy / A.YU. Zvyagintsev, A.V. Moshchenko. – Vladivostok: Dalnauka, 2010. – 343 s.
16. Kari Lydersen. Power plant cooling rules aim to reduce fish kills. [Elektronnyy resurs] Rezhim dostupa: <http://midwestenergynews.com/2011/05/03/power-plant-cooling-rules-aim-to-reduce-fish-kills/> (data obrashcheniya 16.01.2017).
17. Vlad Dorjets. Many newer power plants have cooling systems that reuse water. [Elektronnyy resurs] Rezhim dostupa: <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=14971> (data obrashcheniya 16.01.2017).
18. Fedorovskiy, K.YU. Zamknutyie sistemy okhlazhdeniya sudovykh energeticheskikh ustanovok / K.YU. Fedorovskiy, N.K. Fedorovskaya. – Moskva.: INFRA-M, 2017. – 163 s.

19. Fedorovskiy, K.YU. Prirodookhrannaya tekhnologiya obespecheniya okhlazhdeniya sudovoy energeticheskoy ustanovki. / K.YU. Fedorovskiy, N.K. Fedorovskaya //Sbornik nauchnykh trudov professorsko-prepodavatelskogo sostava Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova: sb. nauch. st. – SPb.: Izd-vo GUMRF im. adm. S. O. Makarova. – 2016. – S.356–362

20. Fedorovskiy, K.YU. Issledovaniye teploperedachi v ekologicheskii bezopasnykh sistemakh okhlazhdeniya energoustanovok morskikh obyektoy / K.YU. Fedorovskiy, N.K. Fedorovskaya, V.A. Timofeyev // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2016. – № 3–4. – S.82–88.

**Fedorovskaya Nadezhda Konstantinovna**

Sevastopol State University

Researcher, Laboratory of efficient energy technologies and installations

Russia, 299053, Sevastopol, Universitetskaya, 33

Tel. +79787096536

E-mail: n.fedorovskaya14@mail.ru

УДК 681.518

О.В. ФИЛИПОВИЧ

## РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННО–УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА ПРИ НАЛИЧИИ ПОСЛЕОПЕРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

**Аннотация.** *Рассматривается математическое описание технологического процесса изготовления партии деталей на металлорежущем станке. Предполагается, что основным показателем качества является линейный размер детали, отклонение которого определяется размерной настройкой станка и совокупностью случайных факторов, основным из которых является износ инструмента. Приводятся причины возникновения случайных погрешностей при обработке, зависимость результата измерения от погрешности, а также законы распределения и некоторые параметры случайных величин. Для оценки отклонения величины размерной настройки в каждом цикле предлагается использовать рекуррентный алгоритм. Приводятся результаты моделирования, анализ которых доказывает эффективность применения алгоритма для исследования данной динамической системы. Разработана структурная схема информационно–управляющей системы станка, описано ее функционирование и взаимодействие подсистем. Предлагаются варианты использования алгоритма и перспективы дальнейших исследований.*

**Ключевые слова:** *информационно–управляющая система, металлорежущий станок, показатель качества, послеоперационный контроль, фильтр Калмана, оценка, управление.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грибков, А.Н. Информационно–управляющие системы многомерными технологическими объектами: теория и практика: монография /А.Н. Грибков, Д.Ю. Муромцев. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 164 с.
2. Пьявченко, Т.А. Автоматизированные информационно–управляющие системы /Т.А. Пьявченко, В.И. Финаев. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2007. – 271 с.
3. Сергеев, А.С. Разработка информационно–управляющих систем для универсальных металлообрабатывающих станков [Электронный ресурс] /А.С. Сергеев, Ж.С. Тихонова, Д.Т. Арстангалиев [и др.] // NovaInfo.Ru: электрон. журнал. – 2017. – № 66, т. 1. – Режим доступа: <http://novainfo.ru/article/13176>.
4. Kumar, S. An information model for process control on machine tools /S. Kumar, S.T. Newman, A. Nassehi [oth.] //Advances in Intelligent and Soft Computing. Vol. 66 AISC. Springer. – 2010. – PP. 1565–1582.
5. Гейлер, З.Ш. Самонастраивающиеся системы активного контроля. – 2–е изд., перераб. и доп. /З.Ш. Гейлер. – М. – Машиностроение, 1978. – 224 с.
6. Точность производства в машиностроении и приборостроении. Под ред. А.Н. Гаврилова. – М.: Машиностроение, 1973. – 567 с.
7. Волосов, С.С. Основы точности активного контроля размеров /С.С. Волосов. – М.: Машиностроение, 1969. – 359 с.
8. Невельсон, М.С. Автоматическое управление точности металлообработки /М.С. Невельсон. – Л.: Машиностроение, 1973. – 176 с.
9. Копп, В.Я. Анализ дифференциальной энтропии при технических измерениях в машино– и приборостроении /В.Я. Копп, А.А. Скидан, А.И. Балакин [и др.] //Труды Одесского политехнического университета: Научный и производственно – практический сборник по техническим и естественным наукам. – Одесса. – 2007. – Вып.1(27). – С.214 – 219.
10. Kalman, R.E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction /R.E Kalman //Transaction ASME Journal of Basic Engineering. – 1960. – № 86. – PP. 35–45.

11. Spall, J.C. Introduction to Stochastic Search and Optimization: Estimation, Simulation, and Control /J.C. Spall. – Hoboken, New Jersey: Wiley, 2003. – 618 p.
12. Auger, F. Industrial Applications of the Kalman Filter: A Review /F. Auger, M. Hilaret, J.M. Guerrero [oth.] //IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 60(12). – 2003. – 5458–5471 [6400245].
13. Воскобойников, Ю.Е. Рекуррентное оценивание вектора состояния динамических систем / Воскобойников Ю.Е. – Новосиб.: НГТУ, 2014. – 136 с.
14. Воскобойников, Ю.Е. Критерий расходимости и алгоритм адаптации рекуррентного алгоритма оценивания вектора состояния //Научный вестник НГТУ. – 2015. – № 3 (60). – С. 7–22.

**Филипович Олег Викторович**

Севастопольский государственный университет,  
г. Севастополь

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Приборные системы и автоматизация технологических процессов

299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

Тел. 55–00–77

E-mail: filipovich@sevsu.ru

---

O.V. FILIPOVICH

## **DEVELOPMENT OF THE STRUCTURE OF THE INFORMATION AND CONTROL SYSTEM OF THE METAL–CUTTING MACHINE TOOL WITH POST–OPERATIVE CONTROL**

**Abstract.** Consideration is given to a mathematical representation for manufacturing of batch parts on a metal–cutting machine tool. Linear dimensions of machined parts are assumed to be the major quality indicator, deviation from these dimensions is determined by size setting of machine tool and ensemble of random factors, the main one is tool wear. Reasons for development of random error in processing, dependence of measurement results on error as well as distribution laws and some parameters of random values are provided. To evaluate deviation of size setting value in each cycle, it is proposed to apply a recursive algorithm. Simulation results which prove effectiveness of algorithm application to investigate the given dynamic system are provided. A block diagram of the information and control system of the machine tool is developed, its functioning and interaction of subsystems is described. Variants of algorithm application and opportunities of further research are proposed.

**Keywords:** information and control system, metal–cutting machine tool, quality indicator, post–operative control, Kalman filter, estimation, control.

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Gribkov, A.N. Informatsionno–upravlyayushchiye sistemy mnogomernymi tekhnologicheskimi obyektami: teoriya i praktika: monografiya /A.N. Gribkov, D.YU. Muromtsev. – Tambov: Izd–vo FGBOU VO «TGTU», 2016. – 164 s.
2. Pyavchenko, T.A. Avtomatizirovannyye informatsionno–upravlyayushchiye sistemy /T.A. Pyavchenko, V.I. Finayev. – Taganpog: Izd–vo TRTU, 2007. – 271 s.
3. Sergeev, A.S. Razrabotka informatsionno–upravlyayushchikh sistem dlya universalnykh metalloobrabatyvayushchikh stankov [Elektronnyy resurs] /A.S. Sergeev, ZH.S. Tikhonova, D.T. Arstangaliyev [i dr.] // NovaInfo.Ru: elektron. zhurnal. – 2017. – № 66, t. 1. – Rezhim dostupa: <http://novainfo.ru/article/13176>.
4. Kumar, S. An information model for process control on machine tools /S. Kumar, S.T. Newman, A. Nassehi [oth.] //Advances in Intelligent and Soft Computing. Vol. 66 AISC. Springer. – 2010. – PP. 1565–1582.
5. Geyler, Z.SH. Samonastroivayushchiyesya sistemy aktivnogo kontrolya. – 2–ye izd., pererab. i dop. /Z.SH. Geyler. – M. – Mashinostroyeniye, 1978. – 224 s.
6. Tochnost proizvodstva v mashinostroyenii i priborostroyenii. Pod red. A.N. Gavriloza. – M.: Mashinostroyeniye, 1973. – 567 s.
7. Volosov, S.S. Osnovy tochnosti aktivnogo kontrolya razmerov /S.S. Volosov. – M.: Mashinostroyeniye, 1969. – 359 s.
8. Nevelson, M.S. Avtomaticheskoye upravleniye tochnosti metalloobrabotki /M.S. Nevelson. – L.: Mashinostroyeniye, 1973. – 176 s.
9. Kopp, V.YA. Analiz differentsialnoy entropii pri tekhnicheskikh izmereniyakh v mashino– i priborostroyenii /V.YA. Kopp, A.A. Skidan, A.I. Balakin [i dr.] //Trudy Odesskogo politekhnicheskogo universiteta: Nauchnyy i proizvodstvenno – prakticheskiy sbornik po tekhnicheskim i yestestvennym naukam. – Odessa. – 2007. – Vyp.1(27). – S.214 – 219.

10. Kalman, R.E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction /R.E Kalman //Transaction ASME Journal of Basic Engineering. – 1960. – № 86. – PP. 35–45.
11. Spall, J.C. Introduction to Stochastic Search and Optimization: Estimation, Simulation, and Control /J.C. Spall. – Hoboken, New Jersey: Wiley, 2003. – 618 p.
12. Auger, F. Industrial Applications of the Kalman Filter: A Review /F. Auger, M. Hilaret, J.M. Guerrero [oth.] //IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 60(12). – 2003. – 5458–5471 [6400245].
13. Voskoboynikov, YU.Ye. Rekurrentnoye otsenivaniye vektora sostoyaniya dinamicheskikh sistem / Voskoboynikov YU.Ye. – Novosib.: NGTU, 2014. – 136 s.
14. Voskoboynikov, YU.Ye. Kriteriy rashodimosti i algoritm adaptatsii rekurrentnogo algoritma otsenivaniya vektora sostoyaniya //Nauchnyy vestnik NGTU. – 2015. – № 3 (60). – S. 7–22.

**Filipovich Oleg Viktorovich**

Sevastopol State University, Sevastopol

Ph.D., Associate professor, Head of the Department «Instrument Systems and Automation of Technological Processes» 299053, Sevastopol, Universitetskaya st., 33

Ph. 55–00–77

E-mail: filipovich@sevsu.ru

УДК 621.746.4

А.А. ШАТУЛЬСКИЙ

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАСХОДА ЭЛЕМЕНТОВ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ

**Аннотация.** *Представлены экспериментальные результаты определения коэффициентов расхода элементов литниковой системы литья по выплавляемым моделям, позволившие уточнить методику расчета параметров литья отливок типа «Лопатка».*

**Ключевые слова:** *литниковая система, моделирование, коэффициент расхода, параметры литья.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыжиков, А.А. Теоретические основы литейного производства / А.А. Рыжиков. – М. Свердловск: Машгиз, 1961. – 447 с.
2. Литье по выплавляемым моделям / В.Н.Иванов, С.А.Казеннов, Б.С.Курчман и др.:под общ.ред. Я.И.Шкленника, В.А. Озерова. – М.:Машиностроение, 1984. – 408 с.
3. Шатульский, А.А. Разработка методики проектирования литниковых систем / А.А. Шатульский, В.А. Изотов, А.А. Акутин, Ю.В. Чибирнова // Литейное производство. – 2010. – № 5. – С.2–6.
4. Изотов, В.А. Методика расчета коэффициента сопротивлений литниковой системы при изменяющемся напоре / В.А. Изотов, С.А. Гришихин, А.А. Шатульский // Литейщик России. – 2009. – № 3. – С.39–42.

**Шатульский Александр Анатольевич**

ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А.Соловьева», г. Рыбинск

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Материаловедения, литья, сварки

152934, г.Рыбинск, Ярославской области, ул. Пушкина, 53

Тел. (4855)– 280479

E-mail:shatulsky@rgata.ru

---

A.A. SHATULSKY

## THE EXPERIMENTAL DEFINITION OF COEFFICIENT FLOW OF GATE SYSTEM ELEMENTS

**Abstract.** *Experimental results of definition of coefficient of flow of gate system elements for investment casting are presented there. These results allow to inquire a procedure of cast parameter calculation for castings of type «Blade».*

**Keywords:** *gate system, modeling, coefficient of flow, cast parameters.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Ryzhikov, A.A. Teoreticheskiye osnovy liteynogo proizvodstva / A.A. Ryzhikov. – M. Sverdlovsk: Mashgiz, 1961. – 447 s.
2. Liteye po vyplavlyayemyim modelyam / V.N.Ivanov, S.A.Kazennov, B.S.Kurchman i dr.:pod obshch.red. YA.I.Shklennika, V.A. Ozerova. – M.:Mashinostroyeniye, 1984. – 408 s.
3. Shatul'skiy, A.A. Razrabotka metodiki proyektirovaniya litnikovoykh sistem / A.A. Shatul'skiy, V.A. Izotov, A.A. Akutin, YU.V. Chibirnova // Liteynoye proizvodstvo. – 2010. – № 5. – S.2–6.
4. Izotov, V.A. Metodika rascheta koeffitsiyenta soprotivleniy litnikovoy sistemy pri izmenyayushchemsya napore / V.A. Izotov, S.A. Grishikhin, A.A. Shatul'skiy // Liteyshchik Rossii. – 2009. – № 3. – S.39–42.

### **Shatul'skiy Aleksandr Anatolevich**

P.A. Soloviev, Rybinsk State Aviation Technical University

Doctor of Techn. Sciences, Full professor, Head of department of Material, Foundry, Welding

Rybinsk, Pushkina, 53

Tel. (4855) – 280479

E-mail:shatul'skiy@rgata.ru

УДК 681.31:621.95(075)

А.Ю. ГОРЕЛОВА, М.Г. КРИСТАЛЬ

## **ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ «РАСТОЧНАЯ ГОЛОВКА–ЗАГОТОВКА» НА ТОЧНОСТЬ ГЛУБОКОГО РАСТАЧИВАНИЯ ГИЛЬЗЫ ГИДРОЦИЛИНДРА**

***Аннотация.** Авторами предложена математическая модель формирования огранки глубокого отверстия при его растачивании. Определены зависимости величины огранки от основных динамических характеристик расточной головки. Обосновано, что огранка проявляется как технологическая наследственность погрешностей заготовки. Теоретические положения подтверждены методом компьютерного моделирования процесса формообразования при чистовом растачивании глубокого отверстия гильзы гидроцилиндра телескопирования. Предложен метод минимизации погрешностей отверстия.*

***Ключевые слова:** огранка, погрешности растачивания, компьютерное моделирование, математическое моделирование процесса растачивания.*

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Пат. 2298456 Россия Расточной инструмент: МПК<sup>7</sup> В 23 В 29 / 02 / Корюкина Н.А.; заявитель и патентообладатель Корюкина Нина Алексеевна. – № 2005135279/02 заявл. 14.11.2005; опубл. 10.05.2007, Бюл. № 13.
2. Пат. 2014172 Россия Расточная головка: МПК<sup>7</sup> В 23 В 29 / 03 / Приземирский В.С., Волынский А.А., Хисамутдинов Р.А.; заявитель и патентообладатель Пермский научно-исследовательский технологический институт. – № 925022807; заявл. 16.01.1992; опубл. 20.05.2011.
3. А.С. 1042955 СССР Устройство контроля эксцентриситета при обработке глубоких отверстий: МПК<sup>7</sup> В 23 Q 15 / 04 / Кулагин Р. Н.; заявитель Волгоградский ордена трудового красного знамени политехнический институт; патентообладатель Волгоградский политехнический институт. – № 823479734 заявл. 30.07.1982; опубл. 30.12.1993, БИ 9347.
4. Пат. 1352764 Россия Способ обработки глубоких отверстий: МПК<sup>7</sup> В 23 В 35 / 00 / Фрезинский Л. Л., Кулагин Р. Н., Ткаченко А. А.; заявитель и патентообладатель Волгоградский политехнический институт. – 4011348/08 заявл. 10.11.1985; опубл. 27.11.2000, Бюл. № 33.
5. Rubio, L. Optimization of pas-sive vibration absorbers to reduce chatter in boring / J. A. Loya, M. H Miguelez., J. Fernandez-Saez // Nechanical Systems and Signal Processing. –2013. – P. 691–704.
6. Горелова, А.Ю. Совершенствование конструкции инструмента на основе моделирования процесса растачивания гильзы гидроцилиндра / А.Ю. Горелова, М. Г. Кристаль // Известия Тульского гос. ун-та. Технические науки. – 2016. – Вып. 11, ч. 2. – С. 105–115.
7. Пат. 169720 Россия, Расточная головка: МПК<sup>7</sup> В 23 В 29 / 03 / Горелова А. Ю, Кристаль М.Г.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет». – № 2016129421; заявл. 18.07.2016; опубл. 29.03. 2017, Бюл. № 10.

**Горелова Ася Юрьевна**  
Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград  
старший преподаватель кафедры автоматизации производственных процессов  
E-mail: forasyoo@gmail.com

**Кристалль Марк Григорьевич**  
Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград  
Доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации производственных процессов  
E-mail: crysmar@mail.ru

---

A.Yu. GORELOVA, M.G. CRYSTAL

## INFLUENCE OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE «BREAK-HEADING-STORAGE» SYSTEM ON THE ACCURACY OF DEEP-BREAKING THE HYDROCYLINDER GILZ

**Abstract.** *A new mathematical model is proposed where faceting pattern formation is treated as a consequence of the holes axis technologically inherited straightness error. The dependence of the roundness error value on the main dynamic characteristics of the boring head are determined. The analysis of the model allowed to establish that the straightness error of the holes axis primarily determines the faceting pattern formation process. Theoretical assumptions are in agreement with the results of computer modeling of the shape formation during the finish boring of the telescoping hydrocylinder deep hole. An improved method for errors minimization is developed.*

**Keywords:** *faceting pattern, boring error, boring process computer modeling, boring process mathematical modeling.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Pat. 2298456 Rossiya Rastochnoy instrument: MPK7 B 23 B 29 / 02 / Koryukina N.A.; zayavitel i patentoobladatel Koryukina Nina Alekseyevna. – № 2005135279/02 zayavl. 14.11.2005; opubl. 10.05.2007, Byul. № 13.
2. Pat. 2014172 Rossiya Rastochnaya golovka: MPK7 B 23 B 29 / 03 / Prizemirskiy V.S., Volynskiy A.A., Khisamutdinov R.A.; zayavitel i patentoobladatel Permskiy nauchno-issledovatel'skiy tekhnologicheskiy institut. – № 925022807; zayavl. 16.01.1992; opubl. 20.05.2011.
3. A.S. 1042955 SSSR Ustroystvo kontrolya ekstsentriziteta pri obrabotke glubokikh otverstiy: MPK7 B 23 Q 15 / 04 / Kulagin R. N.; zayavitel Volgogradskiy ordena trudovogo krasnogo znameniy politekhnicheskiiy institut; patentoobladatel Volgogradskiy politekhnicheskiiy institut. – № 823479734 zayavl. 30.07.1982; opubl. 30.12.1993, BI 9347.
4. Pat. 1352764 Rossiya Sposob obrabotki glubokikh otverstiy: MPK7 B 23 B 35 / 00 / Frezinskiy L. L., Kulagin R. N., Tkachenko A. A.; zayavitel i patentoobladatel Volgogradskiy politekhnicheskiiy institut. – 4011348/08 zayavl. 10.11.1985; opubl. 27.11.2000, Byul. № 33.
5. Rubio, L. Optimization of pas-sive vibration absorbers to reduce chatter in boring / J. A. Loya, M. H. Miguelez, J. Fernandez-Saez // Mechanical Systems and Signal Processing. –2013. – P. 691–704.
6. Gorelova, A.YU. Sovershenstvovaniye konstruktssii instrumenta na osnove modelirovaniya protsessa rastachivaniya gilzy gidrotsilindra / A.YU. Gorelova, M. G. Kristal // Izvestiya Tuls'kogo gos. un-ta. Tekhnicheskiiye nauki. – 2016. – Vyp. 11, ch. 2. – S. 105–115.
7. Pat. 169720 Rossiya, Rastochnaya golovka: MPK7 B 23 B 29 / 03 / Gorelova A. YU, Kristal M.G.; zayavitel i patentoobladatel Federalnoye gosudarstvennoye byudzhethnoye obrazovatelnoye uchrezhdeniye vysshego obrazovaniya «Volgogradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet». – № 2016129421; zayavl. 18.07.2016; opubl. 29.03. 2017, Byul. № 10.

**Gorelova Asya Yurevna**  
Volgograd State Technical University, Volgograd  
Senior Lecturer of the Department of Automation of Production Processes  
E-mail: forasyoo@gmail.com

**Kristal Mark Grigorevich**  
Volgograd State Technical University, Volgograd  
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automation of Production Processes  
E-mail: crysmar@mail.ru

УДК 621.867.61

Е.В. САФРОНОВ, А.Л. НОСКО

РАЗРАБОТКА ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

# ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТОРМОЗНЫХ РОЛИКОВ ГРАВИТАЦИОННЫХ КОНВЕЙЕРОВ

**Аннотация.** Разработан стенд, позволяющий имитировать реальные режимы эксплуатации и проводить испытания тормозных роликов прямого и прижимного принципов действия, применяемых в паллетных гравитационных конвейерах и стеллажах отечественных и зарубежных производителей. Стенд позволяет испытывать ролики диаметром от 50 мм до 135 мм и имитировать торможение паллет с грузом массой от 50 до 1500 кг. Представлены результаты испытаний тормозных роликов прямого действия.

**Ключевые слова:** стенд, тормозной ролик, гравитационный роликовый конвейер, паллета.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивановский, К.Е. Роликовые и дисковые конвейеры и устройства / К.Е. Ивановский, А.Н. Раковщик, А.Н. Цоглин. – М.: Машиностроение, 1973.
2. Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации промышленного транспорта (конвейерный, трубопроводный и другие транспортные средства непрерывного действия). ПОТ Р М–029–2003. М: Изд–во НЦ ЭНАС, 2003.
3. Пат. ФРГ EP 2128048. Bremsrolleneinsatz, Bremsrolle und Rollenbahn / Werner Langer GmbH & Co. Опубл. 02.12.2009.
4. Brake Rollers – euroroll.net [Электронный ресурс] URL: <http://www.euroroll.net/brake-rollers.html> (дата обращения: 24.04.2017).
5. Уведомление от 09.01.2017 г. о положительном результате формальной экспертизы заявки №2016146752/28(075017). Устройство для имитации нагрузки в стенде для испытания тормозных роликов центробежного типа гравитационных конвейеров и стеллажей. Дата подачи заявки 29.11.2016.
6. Arduino [Электронный ресурс] URL: <http://shop.zelectro.cc/arduino-uno-r3> (дата обращения: 04.01.2017).
7. Температурные измерения. Справочник / Геращенко О.А., Гордов А.Н., Еремина А.К. и др.; отв. ред. Геращенко О.А.; АН УССР. Ин–т проблем энергосбережения. Киев: Наук. думка, 1989. – 704 с.
8. Преобразователь сигнала термодатчиков К–типа MAX6675 URL: <https://eseal.ru/index.php/arduino/moduli/211-preobrazovatel-signala-termopary-k-tipa-max6675> (дата обращения: 13.04.17).
9. Arduino Pro Mini |Аппаратная платформа Arduino [Электронный ресурс] URL: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardProMini> (дата обращения: 24.04.2017).
10. Подключение модулей связи 2,4ГГц на базе чипов nRF24L01+ к микроконтроллеру URL: <http://aterlux.ru/article/nrf24l01p> (дата обращения: 24.04.2017).
11. Носко, А.Л. Оценка ресурса фрикционной накладке тормоза ГПМ. / А.Л. Носко // Трибология – машиностроению. – Труды Всероссийской научно–технической конференции с участием иностранных специалистов. – М. – 2014. – С. 61.
12. Носко, А.Л. Практические рекомендации по оценке нагруженности узлов трения (применительно к тормозам ПТМ) / А.Л. Носко // Известия ТулГУ. Сер. Подъемно–транспортные машины и оборудование. Тула: Изд–во ТулГУ. – 2006. – Вып.7. – С.146 – 160.

### Сафронов Евгений Викторович

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, г Москва  
аспирант, кафедра «Подъемно–транспортные системы»  
105005, г. Москва, 2–я Бауманская ул., дом 5, стр. 1,  
Тел. 8 (926) 683–31–17  
E–mail: gen-s@mail.ru

### Носко Андрей Леонидович

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, г Москва  
доктор технических наук; профессор; кафедра «Подъемно–транспортные системы»  
105005, г. Москва, 2–я Бауманская ул., дом 5, стр. 1  
Тел. 8 (905) 506–35–25  
E–mail: dr.nosko@mail.ru

---

E.V. SAFRONOV, A.L. NOSKO

## DEVELOPMENT OF TEST EQUIPMENT TO STUDY THE EFFICIENCY OF BRAKE ROLLERS FOR GRAVITY CONVEYORS

**Abstract.** Designed stand that allows to simulate real conditions and to test the brake rollers direct and indirect actions used in gravity pallet conveyors and racks of domestic and foreign manufacturers. The stand allows to

*test rollers with a diameter of 50 mm to 135 mm and to simulate the braking loads weighing from 50 to 1500 kg. The results of direct tests of brake rollers are presented.*

**Keywords:** test stand, brake roller, gravity roller conveyor, pallet.

## BIBLIOGRAPHY

1. Ivanovskiy, K.Ye. Rolikovyye i diskovyye konveyery i ustroystva / K.Ye. Ivanovskiy, A.N. Rakovshchik, A.N. Tsoglin. – M.: Mashinostroyeniye, 1973.
2. Mezhotraslevyye pravila po okhrane truda pri ekspluatatsii promyshlennogo transporta (konveyernyy, truboprovodnyy i drugiyе transportnyye sredstva nepreryvnogo deystviya). POT R M–029–2003. M: Izd-vo NTS ENAS, 2003.
3. Pat. FRG EP 2128048. Bremsrolleneinsatz, Bremsrolle und Rollenbahn / Werner Langer GmbH & Co. Opubl. 02.12.2009.
4. Brake Rollers – euroroll.net [Elektronnyy resurs] URL: <http://www.euroroll.net/brake-rollers.html> (data obrashcheniya: 24.04.2017).
5. Uvedomleniye ot 09.01.2017 g. o polozhitelnom rezultate formalnoy ekspertizy zayavki №2016146752/28(075017). Ustroystvo dlya imitatsii nagruzki v stende dlya ispytaniya tormoznykh rolikov tsentrobezhnogo tipa gravitatsionnykh konveyerov i stellazhey. Data podachi zayavki 29.11.2016.
6. Arduino [Elektronnyy resurs] URL: <http://shop.zelectro.cc/arduino-uno-r3> (data obrashcheniya: 04.01.2017).
7. Temperaturnyye izmereniya. Spravochnik / Gerashchenko O.A., Gordov A.N., Yeremina A.K. i dr.; otv. red. Gerashchenko O.A.; AN USSR. In-t problem energosberezheniya. Kiyev: Nauk. dumka, 1989. – 704 s.
8. Preobrazovatel signala termopary K-tipa MAX6675 URL: <https://eseal.ru/index.php/arduino/moduli/211-preobrazovatel-signala-termopary-k-tipa-max6675> (data obrashcheniya: 13.04.17).
9. Arduino Pro Mini [Apparatnaya platforma Arduino [Elektronnyy resurs] URL: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardProMini> (data obrashcheniya: 24.04.2017).
10. Podklyucheniye moduley svyazi 2,4GGts na baze chipov nRF24L01+ k mikrokontrolleru URL: <http://aterlux.ru/article/nrf24l01p> (data obrashcheniya: 24.04.2017).
11. Nosko, A.L. Otsenka resursa friktsionnoy nakladki tormoza GPM. / A.L. Nosko // Tribologiya – mashinostroyeniye. – Trudy Vserossiyskoy nauchno–tekhnicheskoy konferentsii s uchastiyem inostrannykh spetsialistov. – M. – 2014. – S. 61.
12. Nosko, A.L. Prakticheskiye rekomendatsii po otsenke nagruzhenosti uzlov treniya (primenitelno k tormozam PTM) / A.L. Nosko // Izvestiya TulGU. Ser. Pod"yemno–transportnyye mashiny i oborudovaniye. Tula: Izd-vo TulGU. – 2006. – Vyp.7. – S.146 – 160.

### **Safronov Evgeniy Viktorovich**

Bauman Moscow State Technical University, Moscow  
Post-graduate, «Hoisting and transport systems»  
department  
105005, Moscow, Russian Federation, 2nd  
Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1  
Ph. 8 (926) 683–31–17  
E-mail: gen-s@mail.ru

### **Nosko Andrey Leonidovich**

Bauman Moscow State Technical University, Moscow  
Doctor of Science (Eng.), Professor, «Hoisting and transport  
systems» department  
105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya  
St., Bldg. 5, Block 1  
Ph. 8 (905) 506–35–25  
E-mail: dr.nosko@mail.ru

УДК 621.7.043

Д.Л. ПАНКРАТОВ, И.О. ЖИГУЛЕВ, В.Г. ШИБАКОВ, Р.В. ШИБАКОВ, А.Е. КРЮКОВ

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВА НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ GH304 НА СПОСОБНОСТЬ К ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКЕ**

**Аннотация.** Одним из условий обеспечения конкурентных преимуществ конечного изделия является возможность проведения сложных, ресурсосберегающих технологических процессов формообразования заготовок из обеспечивающих необходимые эксплуатационные свойства, материалов. В частности к таким процессам относится процесс глубокой вытяжки изделий. Преимуществами глубокой вытяжки являются достаточно высокий коэффициент используемого материала, а также исключительная возможность изготовления тонкостенных глубоких деталей из листовых заготовок типа «Гильза». Необходимым условием для использования глубокой вытяжки является обладание материалом комплексом технологических и механических свойств.



В статье рассматривается оценка возможности применения для глубокой вытяжки никелевого сплава обеспечивающего изделие необходимый уровень эксплуатационных свойств, прежде всего – жаропрочность. Приведены результаты испытаний, оценивающих физико-механические свойства сплава GH304 T14992–1994, а также данные испытаний, на основе которых разработаны рекомендации по проведению глубокой вытяжки изделий из никелевых сплавов.

**Ключевые слова:** никелевые сплавы, листовая штамповка, штамповая оснастка, анизотропия свойств, глубокая вытяжка.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шишляев, В.Н. Цветные сплавы. Учебное пособие / В.Н. Шишляев. – Пермь: Пермский государственный технический университет, 2009. – 235 с.
2. Concise Metals Engineering Data Book Joseph R. Davis. ISBN–13: 978–0–87170–606–5. Copyright, 2007.
3. Гун, Г.Я. Теоретические основы обработки металлов давлением. (Теория пластичности) / Г.Я. Гун. – М.: Металлургия, 1980. – 456 с.
4. Davies, J.R. (Ed.) Nickel, Cobalt, and Their Alloys / J.R. Davies. – (ASM Specialty Handbook) ASM International, 2000. – 421 p.
5. Бобылев, А.В. Механические и технологические свойства металлов. Справочник. 2–е изд., перераб. и доп / А.В. Бобылев. – М.: Металлургия, 1987. – 208 с.
6. SAE J1099 Revised JUN1998 Technical Report on Low Cycle Fatigue Properties Ferrous and Non-Ferrous Materials 2002–08–13.
7. Fu, M.W. Design and Development of Metal-Forming Processes and Products Aided by Finite Element Simulation / M.W. Fu. – Springer International Publishing AG, 2017. – 258 p.
8. Tschätsch, H. Metal Forming Practise: Processes – Machines – Tools / H. Tschätsch, A. Koth. – Springer, 2006. – 415 p.
9. Каргин, В.Р. Экспериментальное исследование процессов деформации при обработке давлением. Учебное пособие по лекционному курсу / В.Р. Каргин, Б.В. Каргин. – Самара: Самарский гос. аэрокосмический ун–т. 2010. – 49 с.
10. Боровик, П.В. Новые подходы к математическому моделированию технологических процессов обработки давлением / П.В. Боровик, Д.А. Усатюк. – Алчевск: ДонДТУ, 2011. – 299 с.
11. Wagoner, R.H. Metal forming analysis / R.H. Wagoner, J.L. Chenot. – Cambridge, Cambridge University Press, 2001. – 376 p.
12. Hosford, W.F. Fundamentals of Engineering Plasticity / W.F. Hosford. – Cambridge University Press, New York, 2013. – VIII. – 267 p.
13. Губкин С.И. Пластическая деформация металлов. Том 1. Физико-механические основы пластической деформации / С.И. Губкин. – Москва: Металлургиздат, 1961. – 376 с.
14. Hingole, Rahulkumar Shivajirao. Advances in Metal Forming: Expert System for Metal Forming / Hingole Rahulkumar Shivajirao. – Springer Berlin Heidelberg, 2015. – 126 p.

**Панкратов Дмитрий Леонидович**  
Набережночелнинский институт  
КФУ– г. Набережные Челны  
Доктор технических наук, профессор  
кафедры «Машиностроение»  
E–mail: pankratovdl@gmail.com

**Жигулев Илья Олегович**  
Набережночелнинский институт  
КФУ– г. Набережные Челны  
Кандидат технических наук,  
доцент кафедры  
«Машиностроение»  
E–mail: jigulev@mail.ru

**Шибakov Владимир Георгиевич**  
Набережночелнинский институт  
КФУ– г. Набережные Челны  
Доктор технических наук,  
заведующий кафедрой  
«Машиностроение»

**Шибakov Ростислав Владимирович**  
Набережночелнинский институт  
КФУ– г. Набережные Челны  
Кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Машиностроение»  
E–mail: roster777@mail.ru

**Крюков Антон Евгеньевич**  
Набережночелнинский институт  
КФУ– г. Набережные Челны  
Аспирант кафедры  
«Машиностроение»  
E–mail: krjukoff@mail.ru

---

D.L. PANKRATOV, I.O. ZHIGULOV, V.G. SHIBAKOV, R.V. SHIBAKOV, A.E. KRYUKOV

## INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL AND MECHANICAL PROPERTIES RATIO OF NICKEL–BASE HEAT–RESISTANT ALLOY ON ABILITY TO DEEP DRAWING

**Abstract.** *One of the conditions of ensuring competitive advantages of the final product is the ability to run complex, resource-saving technological processes of forming of workpieces from providing the necessary performance properties to materials. In particular to such processes is the deep drawing process of the products. Advantages of deep drawing are sufficiently high coefficient of the material used, as well as an exceptional ability to manufacture a deep thin-walled sheet blanks such as «Casing». A necessary condition for the use of deep drawing is material possession the complex technological and mechanical properties.*

*The article discusses the assessment of the feasibility of deep drawing Nickel alloy providing the product with the required level of operational properties, particularly heat resistance. The results of tests evaluating the physical and mechanical properties of the alloy GH304 T14992–1994, plus test data, based on which developed recommendations for the deep drawing of products made of Nickel alloys.*

**Keywords:** Nickel alloys, stamping, die tooling, anisotropy of properties, deep drawing.

## BIBLIOGRAPHY

1. Shishlyayev, V.N. Tsvetnyye splavy. Uchebnoye posobiye / V.N. Shishlyayev. – Perm: Permskiy gosudarstvennyy tekhnicheskyy universitet, 2009. – 235 s.
2. Concise Metals Engineering Data Book Joseph R. Davis. ISBN–13: 978–0–87170–606–5. Copyright, 2007.
3. Gun, G.YA. Teoreticheskiye osnovy obrabotki metallov davleniyem. (Teoriya plastichnosti) / G.YA. Gun. – M.: Metallurgiya, 1980. – 456 s.
4. Davies, J.R. (Ed.) Nickel, Cobalt, and Their Alloys / J.R. Davies. – (ASM Specialty Handbook) ASM International, 2000. – 421 p.
5. Bobylev, A.V. Mekhanicheskiye i tekhnologicheskkiye svoystva metallov. Spravochnik. 2–ye izd., pererab. i dop / A.V. Bobylev. – M.: Metallurgiya, 1987. – 208 s.
6. SAE J1099 Revised JUN1998 Technical Report on Low Cycle Fatigue Properties Ferrous and Non–Ferrous Materials 2002–08–13.
7. Fu, M.W. Design and Development of Metal–Forming Processes and Products Aided by Finite Element Simulation / M.W. Fu. – Springer International Publishing AG, 2017. – 258 p.
8. Tschätsch, H. Metal Forming Practise: Processes – Machines – Tools / H. Tschätsch, A. Koth. – Springer, 2006. – 415 p.
9. Kargin, V.R. Eksperimentalnove issledovaniye protsessov deformatsii pri obrabotke davleniyem. Uchebnoye posobiye po lektсионному курсу / V.R. Kargin, B.V. Kargin. – Samara: Samarskiy gos. aerokosmicheskyy un–t. 2010. – 49 s.
10. Borovik, P.V. Novyye podkhody k matematicheskomu modelirovaniyu tekhnologicheskikh protsessov obrabotki davleniyem / P.V. Borovik, D.A. Usatyuk. – Alchevsk: DonDTU, 2011. – 299 s.
11. Wagoner, R.H. Metal forming analysis / R.H. Wagoner, J.L. Chenot. – Cambridge, Cambridge University Press, 2001. – 376 p.
12. Hosford, W.F. Fundamentals of Engineering Plasticity / W.F. Hosford. – Cambridge University Press, New York, 2013. – VIII. – 267 p.
13. Gubkin S.I. Plasticheskaya deformatsiya metallov. Tom 1. Fiziko–mekhanicheskiye osnovy plasticheskoy deformatsii / S.I. Gubkin. – Moskva: Metallurgizdat, 1961. – 376 s.
14. Hingole, Rahulkumar Shivajirao. Advances in Metal Forming: Expert System for Metal Forming / Hingole Rahulkumar Shivajirao. – Springer Berlin Heidelberg, 2015. – 126 p.

**Pankratov Dmitriy Leonidovich**  
Naberezhnochelninsky Institute of  
Kazan Federal University –  
Naberezhnye Chelny  
Doctor of technical Sciences,  
Professor, Department of mechanical  
engineering  
E–mail: pankratovdl@gmail.com

**Zhigulev Ilya Olegovich**  
Naberezhnochelninsky Institute of  
Kazan Federal University –  
Naberezhnye Chelny  
Candidate of technical Sciences,  
associate Professor of mechanical  
engineering  
E–mail: jigulev@mail.ru

**Shibakov Vladimir Georgievich**  
Naberezhnye Chelny Institute of  
Kazan Federal University –  
Naberezhnye Chelny  
Doctor of technical Sciences, head of  
Department «mechanical  
engineering»

**Shibakov Rostislav Vladimirovich**  
Naberezhnochelninsky Institute of  
Kazan Federal University –  
Naberezhnye Chelny  
Candidate of technical Sciences,  
associate Professor of mechanical  
engineering  
E–mail: roster777@mail.ru

**Kryukov Anton Evgenievich**  
Naberezhnochelninsky Institute of  
Kazan Federal University –  
Naberezhnye Chelny  
Postgraduate student of the  
Department «mechanical  
engineering»  
E–mail: krjukoff@mail.ru

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

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

- Статья предоставляется в 1 экземпляре на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).

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

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

- Структура статьи:

УДК:

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

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

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

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

Текст статьи:

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

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

Фамилия, имя, отчество;

учреждение или организация;

ученая степень, ученое звание, должность;

адрес;

телефон;

электронная почта.

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

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

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

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

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

**Плата за опубликование статей не взимается.**

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

*Адрес издателя:*

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

*Адрес редакции:*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»  
302030, г. Орел, ул. Московская, 34  
+7(920)2806645, +7(906)6639898  
  
<http://oreluniver.ru>  
E-mail: [tiostu@mail.ru](mailto:tiostu@mail.ru)

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

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

Подписано в печать 23.08.2017 г.  
Дата выхода в свет  
Формат 60x88 1/8. Усл. печ. л. 10,25.  
Цена свободная. Тираж 600 экз.  
Заказ \_\_\_\_\_

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