

**Редакционный совет:**

**Голенков В.А.** д-р техн. наук, проф.,  
председатель  
**Пилипенко О.В.** д-р техн. 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.  
**Иванова Т.Н.** д-р техн. наук, проф.  
**Колчунов В.И.** д-р техн. наук, проф.  
**Константинов И.С.** д-р техн. наук, проф.  
**Новиков А.Н.** д-р техн. наук, проф.  
**Попова Л.В.** д-р экон. наук, проф.  
**Степанов Ю.С.** д-р техн. наук, проф.

**Редколлегия**

**Главный редактор**  
**Степанов Ю.С.** д-р техн. наук, проф.,  
заслуженный деятель науки Российской  
Федерации

**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.

**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)  
**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)  
**Клименко С.А.** д-р техн. наук, проф. (Украина)  
**Копылов Ю.Р.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Малинин В.Г.** д-р физ.-мат. наук, проф. (Россия)  
**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)  
**Панин В.Е.** д-р техн. наук, проф., академик  
РАН (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)  
**Хейфец М.Л.** д-р техн. наук, проф. (Беларусь)

**Ответственный секретарь:**

**Тюхта А.В.** канд. техн. наук

**Адрес редакции**

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
(4862) 54-15-19, (4862) 55-55-24,  
+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

### Естественные науки

<i>Баранов В.Л., Смирнов Н.П. Феноменологическая волновая деструкция геометрически неоднородных полей упруго-вязкопластических стержней.....</i>	3
<i>Гордон В.А., Брума Е.В., Потураева Т.В. Варианты решения задач на собственные значения для балок на упругом основании.....</i>	8
<i>Пивень В.Ф. Исследование двумерной фильтрации в анизотропно-неоднородном пористом слое.....</i>	14

### Моделирование технологических процессов

<i>Черкасов Р.И., Мищик М.Ф., Адигамов К.А., Черепенько А.А. Математическое моделирование распределения компонентов при смешивании сыпучих материалов шнековым смесителем.....</i>	25
<i>Горлов А.С., Губарев А.В., Некрасова Ю.С., Горлов К.А. Моделирование процесса истирания частиц твердых материалов.....</i>	30
<i>Албагачиев А.Ю., Холин Н.Н. Исследование влияния трения стенок формы в процессе полужидкого прессования металла.....</i>	35
<i>Савин С.И., Ворочаева Л.Ю., Ворочаев А.В. Моделирование движения четырехного шагающего робота в трубопроводах с изменяющимся диаметром и изгибами.....</i>	39
<i>Канатников Н.В., Харламов Г.А., Канатникова П.А., Паишментова А.С. Моделирование формообразования профиля зуба конического зубчатого колеса резовкой головкой.....</i>	47

### Конструирование, расчеты, материалы

<i>Кузнецов Е.В. Анализ термодинамического механизма пластической деформации твердых кристаллических тел.....</i>	53
<i>Корнеев Ю.С., Корнеева Е.Н. Оптимизация параметров пускозащитных муфт.....</i>	64
<i>Кожухов М.А., Сытин А.В., Бычков М.В. Расчет деформаций лепестка в режиме переключения комбинированной опоры.....</i>	68
<i>Злобин С.Н., Измеров О.В., Копылов С.О. Вопросы снижения фрикционных автоколебаний в нелинейной системе тягового привода транспортного средства.....</i>	75

### Машиностроительные технологии и инструменты

<i>Муравьев А.А., Тарапанов А.С. Обоснование применения и эффективность аддитивных технологий в машиностроении.....</i>	84
<i>Смоленцев В.П., Кондратьев М.В., Иванов В.В., Смоленцев Е.В. Комбинированные методы повышения качества поверхностного слоя материалов.....</i>	90
<i>Толкачев А.В., Коряжский А.А. Метод улучшения шероховатости упроченных поверхностей лопаток компрессора газотурбинного двигателя.....</i>	97
<i>Ямников А.С., Ямникова О.А., Харьков А.И. Эмпирические зависимости составляющих силы резания при нарезании резьбы резцами с керамическими пластинками.....</i>	105

### Приборостроение и биотехнические системы

<i>Воробьев В.И., Тихомиров В.П., Измеров М.А., Стрекалов Н.Н. Обеспечение нормального теплового режима работы силового полупроводникового прибора.....</i>	113
<i>Суханова М.В., Бондарева Л.А. О состоянии исследований в области функциональной диагностики растений.....</i>	121

### Контроль, диагностика, испытания

<i>Аралов О.В., Саванин А.С. Методология совершенствования национальных и межгосударственных стандартов в области измерений количества нефти и нефтепродуктов и контроля качества нефти и нефтепродуктов.....</i>	127
<i>Подмастерьев К.В., Марков В.В., Сметанников А.В., Лукьянчиков А.Н. Статистическая оценка качества технологического процесса автоматного точения по результатам измерений размеров деталей контактных пар электрических соединителей.....</i>	133
<i>Завалишин Н.Н., Николаев Е.В. Устойчивость режимов испытаний тяговых двигателей подвижного состава при различных типах возбуждения.....</i>	139

### Editorial council

**Golenkov V.A.** Doc. Sc. Tech., Prof.,  
president  
**Pilipenko O.V.** Doc. Sc. Tech., Prof.,  
vice-president  
**Radchenko S.Y.** Doc. Sc. Tech., Prof.,  
vice-president  
**Borzenkov M.I.** Candidate Sc. Tech.,  
Assistant Prof, secretary  
**Astafichev P.A.** Doc. Sc. Law., Prof.  
**Ivanova T.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Kolchunov V.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Konstantinov I.S.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Novikov A.N.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Popova L.V.** Doc. Sc. Ec., Prof.  
**Stepanov Y.S.** Doc. Sc. Tech., Prof.

### Editorial Committee

#### Editor-in-chief

**Stepanov Y.S.** Doc. Sc. Tech., Prof., honored  
worker of science of Russian Federation

#### 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.

#### 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)  
**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)  
**Klimenko S.A.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Ukraine)  
**Kopylov Y.R.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)  
**Malinin V.G.** Doc. Sc. Ph. – Math., Prof. (Russia)  
**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)  
**Panin V.E.** Doc. Sc. Tech., Prof. Academician  
of RAS (Russia)  
**Raspopov V.Ya.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)  
**Smolentsev V.P.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)  
**Starovoitov A.L.** Doc. Sc. Ph. – Math., Prof.  
(Belarus)  
**Heifets M.I.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Belarus)

#### Executive secretary:

**Tyukhta A.V.** Candidate Sc. Tech.

#### Address

302020 Orel, Naugorskoe Chossee, 29  
(4862) 54-15-19, (4862) 55-55-24,  
+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

### Natural sciences

<b>Baranov V.L., Smirnov N.P. Phenomenologic wave destruction of the geometric not uniform hollow elastic–ductiloplastic pivots.....</b>	3
<b>Gordon V.A., Bruma E.V., Poturaeva T.V. Solution of the task on eigenvalues for beams on elastic foundation.....</b>	8
<b>Piven V.F. The study of two-dimensional filtering in anisotropic inhomogeneous porous layer.....</b>	14

### Modelling of technological processes

<b>Cherkasov R.I., Mitsik M.F., Adigamov K.A., Cherepenko A.A. Mathematical modelling of distribution of components when mixing shnekov bulks the mixer.....</b>	25
<b>Gorlov A.S., Gubarev A.V., Nekrasova Yu.S., Gorlov K.A. Modeling of the process of abrasion solid particles materials.....</b>	30
<b>Albagachiev A.Yu., Holin N.N. Study of the influence friction walls of form in the process semi–fluid extrusion metal.....</b>	35
<b>Savin S.I., Vorochaeva L.Yu., Vorochaev A.V. Modelling of the movement quadruped walking robot in pipelines with the changing diameter and bends.....</b>	39
<b>Kanatnikov N.V., Harlamov G.A., Kanatnikova P.A., Pashmentova A.S. Modeling forming of tooth profile of bevel gear by cutting head.....</b>	47

### Designing, calculations, materials

<b>Kuznetsov E.V. Analysis of the thermodynamic mechanism of plastic deformation of solid crystalline bodies.....</b>	53
<b>Korneev Yu.S., Korneeva E.N. Optimization parameters start–protective clutch.....</b>	64
<b>Kozhuhov M.A., Sytin A.V., Bychkov M.V. Calculation of elastic element deformation during the regime switch of a combined bearing.....</b>	68
<b>Zlobin S.N., Izmerov O.V., Kopylov S.O. Methods to decrease frictional self–oscillations in nonlinear system of the locomotive traction drive.....</b>	75

### Machine building technology and toolware

<b>Muravev A.A., Tarapanov A.S. Rationale and effectiveness of additive technologies in mechanical engineering.....</b>	84
<b>Smolentsev V.P., Kondratyev M.V., Ivanov V.V., Smolentsev E.V. The improvement quality of the surface layer of materials by the combined processing methods.....</b>	90
<b>Tolkachev A.V., Koryazhkin A.A. Method of improving the roughness of hardened surfaces of gas turbine engine compressor blades.....</b>	97
<b>Yamnikov A.S., Yamnikova O.A., Kharkov A.I. Empirical dependence components cutting forces in threading tools with ceramic plates.....</b>	105

### Instrument making and biotechnological system

<b>Vorobiev V.I., Tihomirov V.P., Izmerov M.A., Strekalov N.N. Support of the normal thermal mode of the power semiconductor device.....</b>	113
<b>Sukhanova M.V., Bondareva L.A. Status of research in the field functional diagnostics of plant.....</b>	121

### Control, diagnostics, tests

<b>Aralov O.V., Savanin A.S. Methodology to improve the national and interstate standards in the field of measuring the quantity oil and oil products and quality control oil and oil products.....</b>	127
<b>Podmasteryev K.V., Markov V.V., Smetannikov A.V., Lukjanchikov A.N. Statistical appraisal a quality of technological process of automatic turning by results measuring the sizes of elements of contact pairs the electrical connectors.....</b>	133
<b>Zavalishin N.N., Nikolaev E.V. Resistance test modes of traction motors of rolling stock in different types of excitation.....</b>	139

## **ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ ВОЛНОВАЯ ДЕСТРУКЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНЫХ ПОЛЫХ УПРУГО–ВЯЗКОПЛАСТИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕЙ**

*Получена полная система квазилинейных дифференциальных уравнений в частных производных гиперболического типа и сопряженная с ней задача Коши для интегро–дифференциального уравнения Вольтерра, описывающие распространение продольных волн растягивающих напряжений в геометрически неоднородных трубчатых стержнях, свойства материалов которых моделируются конституционными уравнениями Малверна–Соколовского–Кристеску, для случаев непрерывной негладкой неоднородности геометрических характеристик поперечных сечений по длине и с учетом поперечной деструкции материала с использованием феноменологического подхода к описанию последней. Обсуждается влияние геометрической неоднородности стержней, моделирующих стволы, на неоднородность и на нестационарность параметров напряженно–деформированного состояния их материалов.*

**Ключевые слова:** волны напряжений; конституционные уравнения; упруго–вязкопластический материал; поперечная деструкция.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Баранов, В.Л. Продольное волновое нагружение и поперечная деструкция стволов артиллерийских систем при выстреле / В.Л. Баранов, Н.П. Смирнов // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.* – 2016. – № 2 (316). – С. 14 – 19.
2. Баранов, В.Л. Некоторые вопросы проектирования и отработки пуль патронов стрелкового оружия / В.Л. Баранов, М.А. Кудряшов, В.Л. Руденко, Н.П. Смирнов, А.Е. Чванов, А.В. Щекин, В.Н. Щитов. – Тула: ТулГУ, 2015. – 192 с.
3. Баранов, В.Л. Феноменологическая модель волнового разрушения упруго–вязкопластического стержня / В.Л. Баранов, П.А. Полтев // В книге «Проблемы механики неупругих деформаций. К 80–летию Л.А. Толоконникова». – Тула: ТулГУ. – 2003. – С. 102–108.
4. Баранов, В.Л. Поведение стержневых и оболочечных конструкций из упруго–вязкопластических материалов в условиях высокоскоростного импульсного нагружения / В.Л. Баранов, И.В. Дунаева, И.Б. Литус, В.Л. Руденко, Д.А. Очнев, А.В. Сорокатый, А.Е. Чванов/Н.Тагил: НТИИМ.– Тула: ТулГУ, 2013. – 323 с.
5. Новацкий, В. Волновые задачи теории пластичности / В. Новацкий. – М.: Мир, 1978. – 312 с.
6. Плахов, П.В., Баранов В.Л. Plarit // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (РФ) № 201161 3373 от 29. 04. 2011 г.

#### **Баранов Виктор Леопольдович**

Тульский государственный университет, г. Тула  
Доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры стрелково–пушечного  
вооружения  
300012, Тула, проспект Ленина д. 92  
Тел.: (4872) 35–18–69,  
E–mail: ivts.tulgu@rambler.ru

#### **Смирнов Николай Павлович**

ФКП «Нижнетагильский институт испытания  
металлов» (Уральский боеприпасный полигон),  
г. Нижний Тагил  
Генеральный директор  
622015, Нижний Тагил, ул. Гагарина д. 29  
Тел.: (3435) 47–51–10,  
E–mail: web@ntiim.ru

# PHENOMENOLOGIC WAVE DESTRUCTION OF THE GEOMETRIC NOT UNIFORM HOLLOW ELASTIC–DUCTILOPLASTIC PIVOTS

*A complete system of quasi-linear differential equations in private derivatives of hyperbolic type and linked with it Koshys problem for Volterras integral-differential equation describing the diffusion of longitudinal waves of stretching tensions in geometric not uniform tubular pivots, which materials properties are modelled bi Malvern–Sokolovsky–Kristesku constitutional equations for the sections along the length and taking into account the cross-destruction of material using phenomenologistcases of an uninterrupted non-facile non-uniformity of geometric characteristics of cross-approach to the describing of the last one is proved. An influence of geometric non-uniformity of pivots modeling the non-uniformity and on the non-stationarity of the parameters of their materials stretched deformed condition is discussed.*

**Keywords:** waves of tensions; constitutional equation, elastic–ductiloplastic material, cross–destruction.

## BIBLIOGRAPHY

1. Baranov, V.L. Prodolnoye volnovoye nagruzheniye i poperechnaya destruktziya stvolov artilleriyskikh sistem pri vystrele / V.L. Baranov, N.P. Smirnov // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2016. – № 2 (316). – S. 14 – 19.
2. Baranov, V.L. Nekotoryye voprosy proyektirovaniya i otrabotki pul patronov strelkovogo oruzhiya / V.L. Baranov, M.A. Kudryashov, V.L. Rudenko, N.P. Smirnov, A.Ye. Chvanov, A.V. Shchekin, V.N. Shchitov. – Tula: TulGU, 2015. –192 s.
3. Baranov, V.L. Fenomenologicheskaya model volnovogo razrusheniya uprugo–vyazkoplasticheskogo sterzhnya /V.L. Baranov, P.A. Poltev // V knige «Problemy mekhaniki neuprugikh deformatsiy. K 80–letiyu L.A. Tolokonnikova». – Tula: TulGU. – 2003. – S. 102–108.
4. Baranov, V.L. Povedeniye sterzhnevnykh i obolocheknykh konstruksiy iz uprugo–vyazkoplasticheskikh materialov v usloviyakh vysokoskorostnogo impulsnogo nagruzheniya / V.L. Baranov, I.V. Dunayeva, I.B. Litus, V.L. Rudenko, D.A. Ochnev, A.V. Sorokatyy, A.Ye. Chvanov/N.Tagil: NTIIM.– Tula: TulGU, 2013. – 323 s.
5. Novatskiy, V. Volnovyye zadachi teorii plastichnosti / V. Novatskiy. – M.: Mir, 1978. – 312 s.
6. Plakhov, P.V., Baranov V.L. Plarit // Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM (RF) № 201161 3373 ot 29. 04. 2011 g.

### **Baranov Viktor Leopoldovich**

Tula State University, Tula  
Doctor of Technical Sciences, full professor, professor  
at the department of gun armament  
92 Lenin Prospect, Tula, 300012  
Phone: (4872) 35–18–69,  
E–mail: ivts.tulgu@rambler.ru

### **Smirnov Nicolay Pavlovich**

FSE «Nizhny Tagil Institute of Metal Testing (Ural  
ammunition testing field)», Nizhny Tagil  
General Director (CEO)  
29 Gagarin Street, Nizhny Tagil, 622015  
Phone: (3435) 47–51–10.  
E–mail: web@ntiim.ru

УДК 624.04+624.072.2

В.А. ГОРДОН, Е.В. БРУМА, Т.В. ПОТУРАЕВА

## ВАРИАНТЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НА СОБСТВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ БАЛОК НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

*Разработан алгоритм определения частот и форм собственных поперечных колебаний балки, опертой на упругое основание Винклера. Вводится вектор состояния сечения балки с четырьмя компонентами: прогиб, угол поворота, изгибающий момент, перерезывающая сила. Рассмотрены три варианта отношения частоты колебаний исследуемой балки к некоторой известной «условной частоте». Показано, что физически реальное описание процесса колебаний дает только один вариант.*

**Ключевые слова:** балка, упругое основание, частичное опирание, поперечные колебания, начальные параметры, частоты колебаний, прогиб, угол поворота, изгибающий момент, перерезывающая сила.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрианов, И.В. Асимптотические методы в теории колебаний балок и пластин / В.И. Андрианов, В.В. Данишевский, А.О. Иванков // Днепрпетровск: Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, 2010. – 216 с.
2. Ерофеев, В.И. Динамическое поведение балок моделей Бернулли – Эйлера, Рэлея и Тимошенко, лежащих на упругом основании (сравнительный анализ) / В.И. Ерофеев, В.В. Кажаяев, Е.Е. Лисенкова, Н.П. Семерикова // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2011. – № 5(3). – С. 274–278.
3. Товстик, П.Е. Неклассические модели балок, пластин и оболочек / П.Е. Товстик // Известия Саратовского университета, Серия Математика. Механика. Информатика. – 2008. – Т. 8. – Вып. 3. – С. 72–85.
4. Ozturk, B. Analytical solution for free vibration analysis of beam on elastic foundation with different support conditions / B.Ozturk, S.B. Coscun //Mathematical problems in engineering, vol. 2013,article ID 470927, P. 7.
5. De Rosa, M.A. Stability and dynamics of beams on Winkler foundations / M.A. De Rosa // Earthquake engineering and structural dynamics. – 1989. – Vol. 18. – pp. 377–388.
6. Thambiratnam, D. Free vibration analysis of beam on elastic foundation /D. Thambiratnam, Y. Zhuge // Computers and Structures. – 1966. – Vol. 6. – pp. 971–980.
7. Гордон, В.А. Собственные поперечные колебания балки, опертой на упругое основание / В.А. Гордон, Т.В. Потураева, Г.А. Семенова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2015. – № 6. – С. 3–10.
8. Вибрации в технике в 6-ти томах. Том 1. Колебания упругих систем / М.: Машиностроение. – 1978. – С. 195.

**Гордон Владимир Александрович**  
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»  
Доктор технических наук,  
заведующий кафедрой «Высшая математика»  
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
Тел.: 41–98–48  
E-mail: gordon1312@mail.ru

**Брума Екатерина Владимировна**  
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»  
Кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Товароведения и таможенного дела»  
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
Тел.: 41–98–48  
E-mail: gordon1312@mail.ru

**Потураева Татьяна Вячеславовна**  
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»  
Кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Высшая математика»  
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
Тел.: 41–98–48  
E-mail: tanpo77@mail.ru

---

V.A. GORDON, E.V. BRUMA, T.V. POTURAEVA

## SOLUTION OF THE TASK ON EIGENVALUES FOR BEAMS ON ELASTIC FOUNDATION

*The algorithm for the determination of the frequencies and forms of natural transverse vibrations of a beam supported on an elastic base Winkler. Introduces vector of the state of the beam section with the four components: deflection, slope, bending moment, shear force. Considered three variants of the relationship of the oscillation frequency of the investigated beams to a certain well-known «conditional frequency». It is shown that the physically real description of the process of oscillation gives only one variant.*

**Keywords:** beam, elastic foundation, partial support, transverse vibrations, the initial parameters, frequencies, deflection, rotation, bending moment, shear force.

## BIBLIOGRAPHY

1. Andrianov, I.V. Asimptoticheskiye metody v teorii kolebaniy balok i plastin / V.I. Andrianov, V.V. Danishevskiy, A.O. Ivankov // Dnepropetrovsk: Pridneprovskaya gosudarstvennaya akademiya stroitelstva i arkhitektury, 2010. – 216 s.
2. Yerofeev, V.I. Dinamicheskoye povedeniye balok modelev Bernulli – Evlera, Releva i Timoshenko, lezhashchikh na uprugom osnovanii (sravnitelnyy analiz) / V.I. Yerofeev, V.V. Kazhavev, Ye.Ye. Lisenkova, N.P. Semerikova // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. – 2011. – № 5(3). – S. 274–278.
3. Tovstik, P.Ye. Neklassicheskoye modeli balok, plastin i obolochek / P.Ye. Tovstik // Izvestiya Saratovskogo universiteta, Seriya Matematika. Mekhanika. Informatika. – 2008. – T. 8. – Vyp. 3. – S. 72–85.
4. Ozturk, B. Analytical solution for free vibration analysis of beam on elastic foundation with different support conditions / B.Ozturk, S.B. Coscun //Mathematical problems in engineering, vol. 2013,article ID 470927, P. 7.
5. De Rosa, M.A. Stability and dynamics of beams on Winkler foundations / M.A. De Rosa // Earthquake engineering and structural dynamics. – 1989. – Vol. 18. – pp. 377–388.
6. Thambiratnam, D. Free vibration analysis of beam on elastic foundation /D. Thambiratnam, Y. Zhuge // Computers and Structures. – 1966. – Vol. 6. – pp. 971–980.
7. Gordon, V.A. Sobstvennyye poperechnyye kolebaniya balki, opertov na uprugoye osnovaniye / V.A. Gordon, T.V. Poturayeva, G.A. Semenova // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2015. – № 6. – S. 3–10.
8. Vibratsii v tekhnike v 6-ti tomakh. Tom 1. Kolebaniya uprugikh sistem / M.: Mashinostroyeniye. – 1978. – S. 195.

**Gordon Vladimir Aleksandrovich**

**Bruma Ekaterina Vladimirovna**

**Poturaeva Tatyana Vyacheslavovna**

Turgenev Orel state university  
Doctor of technical sciences, head  
of chair Higher mathematics  
302020, Orel, Naugorskoje shosse, 29  
Tel.: 41–98–48  
E-mail: gordon1312@mail.ru

Turgenev Orel state university  
Candidate of technical sciences,  
chair of Commodity and customs  
302020, Orel, Naugorskoje shosse, 29  
Tel.: 41–98–48  
E-mail: gordon1312@mail.ru

Turgenev Orel state university  
Candidate of technical sciences, chair of  
Higher mathematics  
302020, Orel, Naugorskoje shosse, 29  
Tel.: 41–98–48  
E-mail: tanpo77@mail.ru

УДК 532.546

В.Ф. ПИВЕНЬ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУМЕРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В АНИЗОТРОПНО-НЕОДНОРОДНОМ ПОРИСТОМ СЛОЕ

*Развит метод исследования основных уравнений двумерной фильтрации жидкости в анизотропно-неоднородном пористом слое (пласте грунта), который применён для отыскания новых фундаментальных решений в конечном виде. Фундаментальное решение, характеризующее сток (источник) является математической моделью работы скважины в водоносном (нефтеносном) пласте грунта, обладающем анизотропией и неоднородностью.*

**Ключевые слова:** анизотропно-неоднородный слой (пласт грунта), фильтрация, метод исследования, фундаментальные решения, математическая модель скважины.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пивень, В.Ф. Математические модели фильтрации жидкости / В.Ф. Пивень. – Орел: Издательство ФГБОУ ВПО «Орловский государственный университет». ПФ Картуш, 2015. – 408 с.
2. Бейтмен, Г. Высшие трансцендентные функции. В 3 т. Т. 1 Гипергеометрическая функция, функции Лежандра / Г. Бейтмен, А. Эрдейи. – М.: Наука, 1973. 294 с.
3. Бейтмен, Г.. Высшие трансцендентные функции. В 3 т. Т. 2 Функции Бесселя, функции параболического цилиндра, ортогональные многочлены / Г. Бейтмен, А. Эрдейи. – М.: Наука, 1974. 204 с.
4. Голубева, О.В. Курс механики сплошных сред / О.В. Голубева. – М.: Высшая школа, 1972. – 368с.
5. Пивень, В.Ф. Теория и приложения математических моделей фильтрационных течений жидкости / В. Ф. Пивень. – Орел: Издательство ГОУ ВПО «Орловский государственный университет». ПФ Картуш, 2006. – 508 с.

#### **Пивень Владимир Федотович**

ФГБОУ ВПО «Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева», г. Орел.  
доктор физико-математических наук, профессор кафедры экспериментальной и теоретической физики  
302026 г. Орел, ул. Комсомольская д. 95.  
Тел. 74 – 79 – 11  
E-mail: pivenvf@gmail.com

---

V.F. PIVEN

## THE STUDY OF TWO-DIMENSIONAL FILTERING IN ANISOTROPIC INHOMOGENEOUS POROUS LAYER

*A method is developed for studying the basic equations of two-dimensional fluid filtration in an anisotropic heterogeneous porous layer (a soil layer), which is used to find new fundamental solutions in a finite form. The fundamental solution that characterizes the drain (source) is a mathematical model of the operation of a well in an aquifer (oil-bearing) layer of soil, which has anisotropy and heterogeneity.*

**Keywords:** anisotropic-heterogeneous layer (soil layer), filtration, research method, fundamental solutions, mathematical model of the well.

### BIBLIOGRAPHY

1. Piven, V. F. Matematicheskie modeli filtratsii zhidkosti / V. F. Piven. – Орел: Izdatelstvo GOU VPO «Orlovskij gosudarstvennyj universitet». PF Kartush, 2015. – 408 s.
2. Bateman, H. Vysshie transcendentnye funkicii. V 3 t. T. 1 Gipergeometricheskaya funkciya, funkicii Lezhandra / H. Bateman, A. Erdelyi. – М.: Nauka, 1973. 294 s.

3. Bateman, H. Vysshie transcendentnye funkicii. V 3 t. T. 2 Gipergeometricheskaya funkciya, funkicii Lezhandra / H. Bateman, A. Erdelyi. – M.: Nauka, 1974. 204 s.
4. Golubeva, O.V. Kurs mekhaniki sploshnyh sred / O.V. Golubeva. – M.: Vysshaya shkola, 1972. – 368 s.
5. Piven, V. F. Teoriya i prilozheniya matematicheskikh modelej filtracionnyh techenij zhidkosti / V. F. Piven. – Orel: Izdatelstvo GOU VPO «Orlovskij gosudarstvennyj universitet». PF Kartush, 2006. – 508 s.

**Piven Vladimir Fedotovich**

Orel State University, Orel.

PhD in Physics, Professor of the Department of Experimental and Theoretical Physics

302026 Orel, Komsomolskaya, 95.

Ph.: 74 – 79 – 11

E-mail: pivenvf@gmail.com

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ** **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

УДК 681.1

Р.И. ЧЕРКАСОВ, М.Ф. МИЦИК, К.А. АДИГАМОВ, А.А. ЧЕРЕПЕНЬКО

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРИ СМЕШИВАНИИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ШНЕКОВЫМ СМЕСИТЕЛЕМ**

*Целью настоящей работы является разработка математической модели распределения компонентов сыпучих материалов при их смешивании шнековым смесителем. Для вероятностных моделей, описывающих процессы смешивания, наиболее приемлемым является математический аппарат случайных процессов Маркова дискретных во времени и пространных. Задача моделирования рассмотрена на примере смешивания двух различных материалов в замкнутом цилиндрическом сосуде с относительно малым радиусом. Принято в качестве предположения, что процесс смешивания материалов является одномерным и происходит в направлении продольной оси смесителя, а сам процесс смешивания состоит из трех составляющих: конвективного, диффузионного и сегрегации. В работе показано, что процесс смешивания следует прекращать, когда доля распределения материала по Марковскому процессу будет равна доле материала, участвующего в сегрегации. Рассмотрен модельный пример в среде Maple 9.5. Показано, что вероятность попадания частицы материала в каждый элементарный объем смесителя равна среднему значению 0,2 с погрешностью 5%.*

***Ключевые слова:** моделирование, компоненты, сыпучие материалы, смешивание, процессы Маркова.*

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Баранцева, Е.А. Исследование процессов непрерывного смешения сыпучих материалов и разработка метода их расчета на основе теории цепей Маркова: дисс. канд. техн. наук/ Иваново, 2003.
2. Богданов, В.В. Смешивание полимеров / В.В.Богданов, Р.В. Торнер, Э.О.Регер.-Л.: Химия, 1979.- 499 с.
3. Weisstein, Eric W. Markov process // Wolfram Math World, 1999.
4. Дынкин, Е.Б. Марковские процессы / Е.Б. Дынкин.- М.: Физматлит, 1963. – 860 с.
5. Майн, Х. Марковские процессы принятия решений / Х. Майн, С. Осаки. – М.: Физматлит, 1977. – 176 с.

**Черкасов Роман Иванович**

аспирант кафедры «Технические системы ЖКХ и сферы услуг» ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты.

Тел. 8-961-283-95-39,

Email: CheRKASOV.R.I.@mail.com

**Мицик Михаил Федорович**

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Математика и прикладная информатика» ИСОиП

(филиал) ДГТУ в г. Шахты.

Тел. 8-906-42-42-716,

Email: m\_mits@mail.ru

**Адигамов Касьян Абдурахманович**

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технические системы ЖКХ и сферы услуг»

ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты.

Тел. 8-928-101-54-70,

Email: adigamov\_k@mail.ru

**Черепенько Аркадий Анатольевич**

Доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкторско-технологическая подготовка

производства» Орловского государственного

университета им. И.С. Тургенева.

Тел. 8-910-748-66-25,

Email arkan@nxt.ru

R.I. CHERKASOV, M.F. MITSIK, K.A. ADIGAMOV, A.A. CHEREPENKO

## MATHEMATICAL MODELLING OF DISTRIBUTION OF COMPONENTS WHEN MIXING SHNEKOV BULKS THE MIXER

*The purpose of the real work is development of mathematical model of distribution of components of bulks at their mixing by the shnekovy mixer. For the veroyatnostnykh of the models describing mixing processes, the mathematical apparatus of casual processes of Markov discrete in time and space is the most acceptable. The problem of modeling is considered on the example of mixing of two various materials in the closed cylindrical vessel with rather small radius. It is accepted as the assumption that process of mixing of materials is one-dimensional and occurs in the direction of a longitudinal axis of the mixer, and process of mixing consists of three components: convective, diffusive and segregation. In work it is shown that process of mixing should be stopped when the share of distribution of material on Markov process is equal to a share of the material participating in a segregation. A model example in the environment of Maple 9.5 is reviewed. It is shown that the probability of hit of a particle of material in each elementary volume of the mixer is equal to average value 0,2 with a margin error of 5%.*

**Keywords:** modeling, components, bulks, mixing, Markov's processes.

### BIBLIOGRAPHY

1. Barantseva, E. A. Issledovaniye of processes of continuous mixture of bulk solids and development of a method of their calculation on the basis of the theory of chains of Markov: yew. edging. техн. sciences / Ivanovo, 2003.
2. Bogdanov, V. V. Mixing of polymers / V. V. Bogdanov, R. V. Torner, E. O. Reger. - L.: Chemistry, 1979. - 499 pages.
3. Weisstein, Eric W. Markov process//Wolfram Math World, 1999.
4. Dynkin, E.B. Markov processes / E.B. Dynkin. - M.: Fizmatlit, 1963. – 860 pages.
5. Main, X. Markov decision making processes / H. Mayne, S. Osaki. – M.: Fizmatlit, 1977. – 176 pages.

#### **Cherkasov Roman Ivanovich**

Post-graduate student of the department «Technical systems of housing and communal services and services sector» of ISO and (branch) of DSTU in Shakhty.  
Tel. 8-961-283-95-39,  
Email: CheRKASOV.R.I. @ Mail.com

#### **Mitsik Mikhail Fedorovich**

Candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department «Mathematics and Applied Informatics» of ISOP (branch) of DSTU in Shakhty.  
Tel. 8-906-42-42-716,  
Email: m\_mits@mail.ru

#### **Adigamov Kasyan Abdurahmanovich**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of «Technical Systems of Housing and Utilities and Services», ISO & D (branch) of DSTU in Shakhty.  
Tel. 8-928-101-54-70,  
Email: adigamov\_k@mail.ru

#### **Cherepenko Arkady Anatolyevich**

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Design and Technological Preparation of Production» Orel State University. I.S. Turgenev.  
Tel. 8-910-748-66-25,  
Email arkan@nxt.ru

УДК 62-492.3+531.66

А.С. ГОРЛОВ, А.В. ГУБАРЕВ, Ю.С. НЕКРАСОВА, К.А. ГОРЛОВ

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСТИРАНИЯ ЧАСТИЦ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

*В статье рассмотрены механизмы истирания частиц твердого материала в камерах измельчения. Представлена физическая модель, определяющая изменение массы частиц различной формы в процессе истирания. Предложена схема установки по визуализации и изучению процесса истирания частиц различной формы для проведения экспериментальных исследований. Описаны принцип ее работы и алгоритм осуществления испытаний. Приведены полученные по результатам экспериментальных исследований значения по истираемости материалов, находящихся наиболее широкое применение в производстве строительных материалов. Приведены результаты экспериментальных исследований, показывающие влияние формы обрабатываемой частицы на время ее истирания. Установлено, что создание физической модели, описывающей процессы истирания частиц с разными физико-механическими характеристиками, способствует организации управления указанными процессами, протекающими в аппаратах, предназначенных для измельчения материалов.*

**Ключевые слова:** истирание частиц, физическая модель, экспериментальная установка.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2250138 Российская Федерация, МПК B02C19/06. Вихре-акустический диспергатор / Гридчин А.М., Севостьянов В.С., Лесовик В.С., Горлов А.С., Перельгин Д.Н., Федоренко Б.З.; заявитель и патентообладатель Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – №2003123664/03; заявл. 25.07.2003; опубл. 20.04.2005. Бюл. №11. – 8 с.
2. Горлов, А.С. Исследование процесса истирания частиц твердой фазы в камере измельчения вихре-акустического диспергатора / А.С. Горлов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. –2015. – №5. – С. 179–183.
3. Черепанов, Г.П. Механика хрупкого разрушения / Г.П. Черепанов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1974. – 640 с.
4. Александров, А.В. Сопротивление материалов / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.И. Державин. – М.: Высшая школа, 1995. – 560 с.
5. Ландау, Л.Д. Теория упругости / Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1975. – 204 с.
6. Мизонов, В.Е. Некоторые закономерности селективного измельчения / В.Е. Мизонов // Теоретические основы химической технологии. – 1984. – Т. 18. – № 3. – С. 410–411.
7. Земсков, Е.П. Моделирование распределения частиц по размерам в кинетике измельчения дисперсных материалов / Е.П. Земсков, Д.О. Бытнев, А.И. Зайцев // Теоретические основы химической технологии. – 1995. – Т. 29. – № 6. – С. 643–645.

### **Горлов Александр Семенович**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород  
Кандидат технических наук, зав. кафедрой высшей математики  
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46  
Тел. 8 (4722) 30-99-06  
E-mail: belgoras@mail.ru

### **Губарев Артем Викторович**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород  
Доцент кафедры энергетики теплотехнологии  
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46  
Тел. 8 (4722) 55-41-03,  
E-mail: artwo0248@mail.ru

### **Некрасова Юлия Сергеевна**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород  
Кандидат физико-математических наук, ведущий инженер кафедры высшей математики  
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46  
Тел. 8 (4722) 30-99-06

### **Горлов Кирилл Александрович**

ООО «Завод – Новатор», г. Белгород  
Инженер-конструктор  
308017, г. Белгород, ул. Волчанская, д. 141,  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород  
Магистрант кафедры технической кибернетики  
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

---

A.S. GORLOV, A.V. GUBAREV, Yu.S. NEKRASOVA, K.A. GORLOV

## **MODELING OF THE PROCESS OF ABRASION SOLID PARTICLES MATERIALS**

*In this article there was considered the fracture mechanism of the solid particles of material in grinding chambers. There was presented the physical model, which determines the mass variation of the various shape particles during the process of abrasion. There was offered the structure diagram for rendering and analysis of the process of abrasion the various shape particles for experimental research. There was adumbrate its operation concept and the algorithm of test operation. There was given the received experimentally values of abrasability of materials, which are the most applicable in building materials industry. There was given the experimental results, which shown the shape of processed particle effect on time of its abrasion. There was found that physical model development, adumbrating the processes of abrasion particles with various physically-mechanical characteristics, is promote to these processes control, which take place in the devices for the grinding of materials.*

**Keywords:** abrasion particles, physical model, experimental plant.

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Pat. 2250138 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B02C19/06. Vihre-akusticheskiy dispergator / Gridchin A.M., Sevostyanov V.S., Lesovik V.S., Gorlov A.S., Perelygin D.N., Fedorenko B.Z.; zayavitel i patentoobladatel Belgorodskiy gosudarstvennyy tehnologicheskii universitet im. V.G. Shuhova. – №2003123664/03; zayavl. 25.07.2003; opubl. 20.04.2005. Byul. №11. – 8 s.

2. Gorlov, A.S. Issledovanie processa istiraniya chastits tvordoy phasy v kamere izmelcheniya vihre-akusticheskogo dispergatora / A.S. Gorlov // Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova. –2015. – №5. – S. 179–183.
3. Cherepanov, G.P. Mehanika hrupkogo razrusheniya / G.P. Cherepanov. – M.: Nauka. Gl. red. phys.-math. lit., 1974. – 640 s.
4. Aleksandrov, A.V. Soprotivleniye materialov / A.V. Aleksandrov, V.D. Potapov, B.I. Derzhavin. – M.: Vysshaya shkola, 1995. – 560 s.
5. Landau, L.D. Teoriya uprugosti / L.D. Landau, E.M. Livshits. – M.: Nauka. Gl. red. phys.-math. lit., 1975. – 204 s.
6. Mizonov, V.E. Nekotorye zakonomernosti selektivnogo izmelcheniya / V.E. Mizonov // Teoreticheskije osnovy himicheskoy tehnologii. – 1984. – T. 18. – № 3. – S. 410–411.
7. Zemskov, E.P. Modelirovaniye raspredeleniya chastits po razmeram v kinetike izmelcheniya dispersnyh materialov / E.P. Zemskov, D.O. Bytiev, A.I. Zaitsev // Teoreticheskije osnovy himicheskoy tehnologii. – 1995. – T. 29. – № 6. – S. 643–645.

**Gorlov Aleksandr Semenovich**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod  
Candidate of Technical Sciences,  
Head. Department of Mathematics  
308012, Belgorod, ul. Kostyukova, 46  
Ph. 8 (4722) 30-99-06  
E-mail: belgoras@mail.ru

**Gubarev Artem Viktorovich**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod  
Associate Professor, Department of Energy thermotechnology  
308012, Belgorod, ul. Kostyukova, 46  
Tel. 8 (4722) 55-41-03,  
E-mail: artwo0248@mail.ru

**Nekrasova Julia Sergeevna**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod  
Candidate of Physical and Mathematical Sciences,  
Senior engineer, Department of Mathematics  
308012, Belgorod, ul. Kostyukova, 46  
Tel. 8 (4722) 30-99-06

**Gorlov Kirill Aleksandrovich**

ООО «Zavod – Novator», Belgorod  
Design engineer  
308017, Belgorod, ul. Volchanskaya, 141,  
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod  
Master's Degree Student, Department of Engineering Cybernetics  
308012, Belgorod, ul. Kostyukova, 46

УДК 621.891

А.Ю. АЛБАГАЧИЕВ, Н.Н. ХОЛИН

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРЕНИЯ СТЕНОК ФОРМЫ В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЖИДКОГО ПРЕССОВАНИЯ МЕТАЛЛА

*Ставится и численно решается задача о полужидком прессовании металла в коническую форму в условиях, когда температура заливки выше температуры плавления на 50–100 °С и существенным образом проявляются реологические свойства материала. Численное моделирование исследуемого процесса позволяет проанализировать влияние трения стенок формы на картину течения расплава.*

**Ключевые слова:** Математическое моделирование, напряженно–деформированное состояние, реология, трение стенок формы, полужидкое прессование, коническая форма.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козырев, Ю.М. Дизайн цилиндрических изделий в процессе горячего изостатического прессования / Ю.М. Козырев, А.В. Пономарев, Н.Н. Холин, // МГУПИ, Дизайн, теория и практика. – 2012. – № 9. – С. 115–122.
2. Седов, Л.И. Механика сплошной среды / Л.И. Седов. – М.: Наука, 1982. – 550 с.
3. Нигматулин, Р.И. Модель упруго–пластической среды с дислокационной кинетикой пластического деформирования / Р.И. Нигматулин, Н.Н. Холин // МТТ, Изв. АН СССР. – 1974. – № 4. – С. 32–39.
4. Фадеев, Л.Л. Повышение надежности деталей машин / Л.Л. Фадеев, А.Ю. Албагачиев. – М.: Машиностроение, 1993. – 96 с.

**Албагачиев Али Юсупович**

ИМАШ РАН, Московский Государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники. г. Москва  
Доктор технических наук

**Холин Николай Николаевич**

ИМАШ РАН, Московский Государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники. г. Москва  
Доктор технических наук

---

A.Yu. ALBAGACHIEV, N.N. HOLIN

## STUDY OF THE INFLUENCE FRICTION WALLS OF FORM IN THE PROCESS SEMI-FLUID EXTRUSION METAL

*Annotation is placed and numerically is solved the problem about the semi-fluid extrusion of metal into the conical shape under the conditions, when the pouring point higher than the melting point by 50–100 °C and essentially are manifested the rheological properties of material. The numerical simulation of the process being investigated makes it possible to analyze the influence of the friction of the walls of form on the picture of the flow of fusion.*

**Keywords:** *mathematical simulation, the stress-strained state, rheology, the friction of the walls of form, semi-fluid extrusion, conical shape.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Kozyrev, YU.M. Dizayn tsilindricheskikh izdeliy v protsesse goryachego izostaticheskogo pressovaniya / YU.M. Kozyrev, A.V. Ponomarev, N.N. Kholin, // MGUPI, Dizayn, teoriya i praktika. – 2012. – № 9. – S. 115–122.
2. Sedov, L.I. Mekhanika sploshnoy sredy / L.I. Sedov. – M.: Nauka, 1982. – 550 s.
3. Nigmatulin, R.I. Model uprugo-plasticheskoy sredy s dislokatsionnoy kinetikooy plasticheskogo deformirovaniya / R.I. Nigmatulin, N.N. Kholin // MTT, Izv. AN SSSR. – 1974. – № 4. – S. 32–39.
4. Fadeyev, L.L. Povysheniye nadezhnosti detaley mashin / L.L. Fadeyev, A.YU. Albagachiyev. – M.: Mashinostroyeniye, 1993. – 96 s.

**Albagachiev Ali Yusupovich**  
IMASh RAS, Moscow State University of Information  
Technologies, Radio Engineering and Electronics.  
Moscow  
Doctor of Technical Sciences

**Holin Nikolay Nikolaevich**  
IMASh RAS, Moscow State University of Information  
Technologies, Radio Engineering and Electronics.  
Moscow  
Doctor of Technical Sciences

УДК 621.865.8

С.И. САВИН, Л.Ю. ВОРОЧАЕВА, А.В. ВОРОЧАЕВ

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧЕТЫРЕХНОГОГО ШАГАЮЩЕГО РОБОТА В ТРУБОПРОВОДАХ С ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ ДИАМЕТРОМ И ИЗГИБАМИ

*Статья посвящена исследованию движения плоского четырехногого шагающего робота внутри трубы с изменяющимся диаметром и изгибами в форме букв L и U на основе аналитического решения обратной задачи кинематики. Особенностью устройства является то, что каждая нога образована двумя звеньями, причем все звенья ног между собой и с корпусом соединены активными цилиндрическими шарнирами. Движение робота происходит в трубе круглого сечения при последовательном отрыве ног от поверхности трубопровода, очередность отрыва и переноса ног определяется соответствующей циклограммой, причем рассматривается случай, когда передние ноги переносятся раньше задних. Приведены результаты численного моделирования движения робота в виде графиков временных зависимостей углов наклона звеньев ног и корпуса, выявлено влияние на характер полученных кривых изменения диаметра трубы и наличия изгибов.*

**Ключевые слова:** *внутритрубный робот, шагающий четырехногий робот, обратная задача кинематики, аналитическое решение.*

*Исследование выполнено за счет средств гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых ученых МК–2577.2017.8.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Roh, S.G. Differential-drive in-pipe robot for moving inside urban gas pipelines / S. G. Roh and H. R. Choi // IEEE transactions on robotics. – 2005. – № 21(1). – P. 1–17.
2. Choi, H.R. In-pipe robot with active steering capability for moving inside of pipelines / H. R. Choi and S. G. Roh // INTECH Open Access Publisher, 2007.
3. Roslin, N.S. A review: hybrid locomotion of in-pipe inspection robot / N.S. Roslin, A. Anuar, M.F.A. Jalal and K.S.M. Sahari // Procedia Engineering. – 2012. – № 41. – P. 1456–1462.
4. Jatsun, S. Pipe inspection parallel-link robot with flexible structure / S. Jatsun, A. Yatsun and S. Savin // Adaptive Mobile Robotics. Proceedings of the 15th International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines / CLAWAR. – 2012. – P. 713–719.
5. Яцун, С.Ф. Испытательный стенд для изучения динамики робота для перемещения по трубам / С.Ф. Яцун, С.И. Савин, О.С. Тарасов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – № 4 (43), часть 2. – С. 221 – 224.
6. Савин, С.И. Экспериментальные исследования управляемого движения робота с внешними актуаторами для мониторинга трубопроводов малого диаметра / С.И. Савин, С.Ф. Яцун, С.Б. Рублев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук 2012. –2012. – №4 (5) Том 14. – С. 1277 – 1279.
7. Яцун, С.Ф. Экспериментальные исследования вертикального перемещения робота для мониторинга трубопроводных систем / С.Ф. Яцун, С.И. Савин // Известия Юго-Западного государственного университета 2012. – 2012. – №5 (44) ч. 2. – С. 199 – 202.
8. Zagler, A. «MORITZ» a pipe crawler for tube junctions / A. Zagler and F. Pfeiffer // In Robotics and Automation, 2003. Proceedings. ICRA'03. IEEE International Conference. – Vol. 3. – P. 2954–2959.
9. Gálvez, J.A. Intrinsic tactile sensing for the optimization of force distribution in a pipe crawling robot / J.A. Gálvez, P.G. de Santos and F. Pfeiffer // ASME Transactions on mechatronics. – 2001 – Vol. 6(1). – P. 26–35.
10. Pfeiffer, F. The TUM-walking machine / F. Pfeiffer, J. Eltze and H.J. Weidemann // Intelligent Automation & Soft Computing. – 1995. – Vol. 1(3). – P.307–323.
11. Khatib, O. Whole-body dynamic behavior and control of human-like robots / O. Khatib, L. Sentis, J.Park and J. Warren // International Journal of Humanoid Robotics. – 2004. – Vol. 1(01). – P. 29–43.
12. Deits, R. Footstep planning on uneven terrain with mixed-integer convex optimization / R. Deits and R. Tedrake // In 2014 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots. – 2014. – P. 279–286.
13. Buss, S.R. Introduction to inverse kinematics with jacobian transpose, pseudoinverse and damped least squares methods / S.R. Buss // IEEE Journal of Robotics and Automation. – 2004. – Vol. 17(1–19). – P. 16.
14. Kuindersma, S. An efficiently solvable quadratic program for stabilizing dynamic locomotion / S. Kuindersma, F. Permenter and R. Tedrake // In 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). – 2014. – P. 2589–2594.
15. Feng, S. Optimization based full body control for the atlas robot / S. Feng, E. Whitman, X. Xinjilefu and C.G. Atkeson // In 2014 IEEE–RAS International Conference on Humanoid Robots. – 2014. – P. 120–127.
16. Flacco, F. Motion control of redundant robots under joint constraints: Saturation in the null space / F. Flacco, A. De Luca and O. Khatib // In Robotics and Automation (ICRA), 2012 IEEE International Conference. – 2012. – P. 285–292.
17. Яцун, С.Ф. Кинематический анализ многозвенного робота для перемещения в трубопроводах / С.Ф. Яцун, С.И. Савин // Управляемые вибрационные технологии и машины: сб. науч. ст.: в 2 ч. (ч. 2) / Юго-Зап. гос. ун-т. – 2014. – С. 256–266.

**Савин Сергей Игоревич**  
 ФГБОУ ВО Юго-Западный  
 государственный университет, г.  
 Курск  
 кандидат технических наук  
 старший преподаватель кафедры  
 механики, мехатроники и  
 робототехники  
 305040 г. Курск, ул. 50 лет  
 Октября, 94, к. 218  
 Тел.: +7(4712)222626  
 E-mail: sergey89mtkgtu@mail.ru

**Ворочаева Людмила Юрьевна**  
 ФГБОУ ВО Юго-Западный  
 государственный университет, г.  
 Курск  
 кандидат технических наук  
 старший преподаватель кафедры  
 механики, мехатроники и  
 робототехники  
 305040 г. Курск, ул. 50 лет  
 Октября, 94, к. 218  
 Тел.: +7(4712)222626  
 E-mail: mila180888@yandex.ru

**Ворочаев Александр Валерьевич**  
 ФГБОУ ВО Юго-Западный  
 государственный университет, г.  
 Курск  
 аспирант кафедры  
 механики, мехатроники и  
 робототехники  
 305040 г. Курск, ул. 50 лет  
 Октября, 94, к. 218  
 Тел.: +7(4712)222626  
 E-mail: sasha-vorochaev@yandex.ru

---

S.I. SAVIN, L.Yu. VOROCHAEVA, A.V. VOROCHAEV

## MODELLING OF THE MOVEMENT QUADRUPED WALKING ROBOT IN PIPELINES WITH THE CHANGING DIAMETER AND BENDS

*Article is devoted to a research of the movement flat quadruped walking robot in a pipe with the changing diameter and bends in the form of the letters L and U on the basis of the analytical solution inverse problem of kinematics. Feature of the device is that each leg is formed by two links, and all links of legs among themselves and are connected to the body by active cylindrical joints. The movement of the robot occurs in a pipe of circular cross-section at a consecutive separation of legs from the surface of the pipeline, sequence of a separation and transfer of legs is defined by the corresponding cyclogram, and the case when forward legs are transferred before back is considered. Results of numerical modeling of the movement of the robot in the form of schedules of temporary dependences of angles of inclination of leg's links and the body are given, influence on character of the received curves of change of diameter of a pipe and existence of bends is revealed.*

**Keywords:** *intra pipe robot, walking quadruped robot, inverse problem of kinematics, analytical solution.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Roh, S.G. Differential-drive in-pipe robot for moving inside urban gas pipelines / S. G. Roh and H. R. Choi // IEEE transactions on robotics. – 2005. – № 21(1). – P. 1–17.
2. Choi, H.R. In-pipe robot with active steering capability for moving inside of pipelines / H. R. Choi and S. G. Roh // INTECH Open Access Publisher, 2007.
3. Roslin, N.S. A review: hybrid locomotion of in-pipe inspection robot / N.S. Roslin, A. Anuar, M.F.A. Jalal and K.S.M. Sahari // Procedia Engineering. – 2012. – № 41. – P. 1456–1462.
4. Jatsun, S. Pipe inspection parallel-link robot with flexible structure / S. Jatsun, A. Yatsun and S. Savin // Adaptive Mobile Robotics. Proceedings of the 15th International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines / CLAWAR. – 2012. – P. 713–719.
5. Jatsun, S.F. Ispytatel'nyj stend dlya izucheniya dinamiki robota dlya peremeshcheniya po trubam / S.F. Jatsun, S. I. Savin and O. S. Tarasov // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2012. – Vol. 2, №4 (43). – P. 221–224.
6. Savin, S. I. Eksperimental'nye issledovaniya upravlyaemogo dvizheniya robota s vneshnimi aktuatorami dlya monitoringa truboprovodov malogo diametra / S. I. Savin, S.F. Jatsun and S. B. Rublyov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2012. – Vol. 5, № 4 (5). – P. 1277–1279.
7. Jatsun, S.F. Eksperimental'nye issledovaniya vertikal'nogo peremeshcheniya robota dlya monitoringa truboprovodnyh sistem / S.F. Jatsun and S. I. Savin // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2012. – Vol. 2, № 5 (44) – P. 199–202.
8. Zagler, A. «MORITZ» a pipe crawler for tube junctions / A. Zagler and F. Pfeiffer // In Robotics and Automation, 2003. Proceedings. ICRA'03. IEEE International Conference. – Vol. 3. – P. 2954–2959.
9. Gálvez, J.A. Intrinsic tactile sensing for the optimization of force distribution in a pipe crawling robot / J.A. Gálvez, P.G. de Santos and F. Pfeiffer // ASME Transactions on mechatronics. – 2001 – Vol. 6(1). – P. 26–35.
10. Pfeiffer, F. The TUM-walking machine / F. Pfeiffer, J. Eltze and H.J. Weidemann // Intelligent Automation & Soft Computing. – 1995. – Vol. 1(3). – P.307–323.
11. Khatib, O. Whole-body dynamic behavior and control of human-like robots / O. Khatib, L. Sentis, J.Park and J. Warren // International Journal of Humanoid Robotics. – 2004. – Vol. 1(01). – P. 29–43.
12. Deits, R. Footstep planning on uneven terrain with mixed-integer convex optimization / R. Deits and R. Tedrake // In 2014 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots. – 2014. – P. 279–286.
13. Buss, S.R. Introduction to inverse kinematics with jacobian transpose, pseudoinverse and damped least squares methods / S.R. Buss // IEEE Journal of Robotics and Automation. – 2004. – Vol. 17(1–19). – P. 16.
14. Kuindersma, S. An efficiently solvable quadratic program for stabilizing dynamic locomotion / S. Kuindersma, F. Permenter and R. Tedrake // In 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). – 2014. – P. 2589–2594.
15. Feng, S. Optimization based full body control for the atlas robot / S. Feng, E. Whitman, X. Xinjilefu and C.G. Atkeson // In 2014 IEEE–RAS International Conference on Humanoid Robots. – 2014. – P. 120–127.
16. Flacco, F. Motion control of redundant robots under joint constraints: Saturation in the null space / F. Flacco, A. De Luca and O. Khatib // In Robotics and Automation (ICRA), 2012 IEEE International Conference. – 2012. – P. 285–292.
17. Jatsun, S.F. Kinematicheskij analiz mnogozvennogo robota dlya peremeshcheniya v truboprovodah / S.F. Jatsun and S. I. Savin // Upravlyaemye vibracionnye tekhnologii i mashiny. – 2014. – Vol. 2 – P. 256–266.

### Savin Sergey Igorevich

Southwest state university, Kursk  
PhD, senior lecturer of department  
of mechanics, mechatronics and  
robotics  
305040 Kursk, 50 let Oktyabrya, 94

### Vorocheva Lyudmila Yurievna

Southwest state university, Kursk  
PhD, senior lecturer of department  
of mechanics, mechatronics and  
robotics  
305040 Kursk, 50 let Oktyabrya, 94

### Vorochev Alexander Valerievich

Southwest state university, Kursk  
post-graduate student of department  
of mechanics, mechatronics and  
robotics  
305040 Kursk, 50 let Oktyabrya, 94,

УДК: 621.7.07.08

Н.В. КАНАТНИКОВ, Г.А. ХАРЛАМОВ, П.А. КАНАТНИКОВА, А.С. ПАШМЕНТОВА

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРОФИЛЯ ЗУБА КОНИЧЕСКОГО ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА РЕЗЦОВОЙ ГОЛОВКОЙ

*Обработка конических зубчатых колес – одна из наиболее ответственных операций в автомобильной промышленности, требующая оптимизации геометрии зубьев колес, с целью достижения требуемых эксплуатационных характеристик зубчатой передачи. В работе представлены аналитическая модель процесса резания, позволяющая на основе исследования пространственной схемы формообразования профиля зуба, определить геометрию стружки и кинематическое изменение углов резания. Полученные результаты в дальнейшем будут использованы для решения задач оптимизации резания и станут основой для разрабатываемой авторами гибридной модели обработки конических зубчатых колес. Данная работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК–107.2017.8.*

*Ключевые слова:* резание, аналитическое моделирование, коническое зубчатое колесо, кинематика резания, формообразование зуба колеса.

*Коллектив авторов выражает благодарность Совету по грантам Президента Российской Федерации за оказанную финансовую поддержку при выполнении гранта «Теоретические и экспериментальные исследования тепловых процессов возникающих при обработке конических зубчатых колес резцовыми головками» № МК–107.2017.8.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов, Р. В. Управления параметрами качества колес с внутренними зубьями незвольвентного профиля. / Р.В. Анисимов, А.С. Тарапанов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2011. – № 4–2. – С. 9–13.
2. Стеблецов, Ю.Н. Повышение эффективности обработки зубчатых колес передачи Новикова // Фундаментальные и прикладные проблемы модернизации современного машиностроения и металлургии. Материалы международной научно–технической конференции, посвященной 50–летию кафедры технологии машиностроения ЛГТУ. Липецк: ЛГТУ – 2012. – С. 3–7.
3. Полохин, О.В. Нарезание зубчатых профилей инструментами червячного типа / О.В. Полохин, А.С. Тарапанов, Г.А. Харламов. – М.: Машиностроение, 2007. – 240 с.
4. Gerth, J. et al. On the wear of PVD – coated HSS hobs in dry gear cutting // Wear. – 2009. – Т. 266. – №. 3. – С. 444–452.
5. Rech, J. Influence of cutting edge preparation on the wear resistance in high speed dry gear hobbing // Wear. – 2006. – Т. 261. – №. 5. – С. 505–512.
6. Bouzakis, K.D. et al. Determination of chip geometry and cutting forces in gear hobbing by a FEM–based simulation of the cutting process // Proceedings of the 8th CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations, Chemnitz. – 2005. – С. 49 – 58.
7. Klocke F., Gorgels C., Herzhoff S. Tool load during multi–flank chip formation // Advanced Materials Research. – 2011. – Т. 223. – С. 525–534.
8. Arrazola P. J. et al. Recent advances in modelling of metal machining processes //CIRP Annals–Manufacturing Technology. – 2013. – Т. 62. – №. 2. – С. 695–718.
9. Калашников, А.С. Технология изготовления зубчатых колес / А.С. Калашников. – М.: Машиностроение, 2004. – 452 с.
10. Писманик, К.М. Станки для обработки конических зубчатых колес / К.М. Писманик, Л.И. Шейко, В.М. Денисов. – М.: Машиностроение. – 1993. – 332 с.
11. Харламов, Г.А. Теория проектирования процессов лезвийной обработки / Г.А. Харламов, А.С. Тарапанов. – М.: Машиностроение, 2003. – 259 с.

**Канатников Никита Владимирович**  
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева» г. Орел  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Конструкторско–технологическое обеспечение  
машиностроительных производств»  
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95  
Тел.: + 7 (4862) 419895  
E–mail: Nkanatnikov@yandex.ru

**Харламов Геннадий Андреевич**  
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева» г. Орел  
доктор технических наук, профессор, профессор  
кафедры «Конструкторско–технологическое  
обеспечение машиностроительных производств»  
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95  
Тел.: + 7 (4862) 419895  
E–mail: awj@list.ru

ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева» г. Орел  
магистр второго года обучения кафедры  
«Информационные системы»  
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95  
Тел.: + 7 (4862) 419895  
E-mail: Polka190@yandex.ru

ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева» г. Орел  
магистр второго года обучения кафедры  
«Приборостроение, метрологи и сертификации»  
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95  
Тел.: + 7 (4862) 419895  
E-mail: adjourn@yandex.ru

N.V. KANATNIKOV, G.A. HARLAMOV, P.A. KANATNIKOVA, A.S. PASHMENTOVA

## MODELING FORMING OF TOOTH PROFILE OF BEVEL GEAR BY CUTTING HEAD

*Processing bevel gears is one of the most responsible operations in automobile industry. This operation requires optimization of gear teeth geometry to achieve the required performance characteristics of gear. This paper presents analytical model of cutting, which determines geometry of chips and kinematic changes of cutting angel. The results will be base for authors hybrid model of processing bevel gears. This work was supported by a grant from the President of the Russian Federation for the state support of young Russian scientists – candidates of sciences MK–107.2017.8.*

**Keywords:** cutting, analytical modeling, bevel gear, kinematics of cutting, shaping of the tooth of the wheel.

### BIBLIOGRAPHY

1. Anisimov, R. V. Upravleniya parametrami kachestva koles s vnutrennimi zubyami neevolventnogo profilya. / R.V. Anisimov, A.S. Tarapanov // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2011. – № 4–2. – S. 9–13.
2. Stebletsov, YU.N. Povysheniye effektivnosti obrabotki zubchatykh koles peredachi Novikova // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy modernizatsii sovremennogo mashinostroyeniya i metallurgii. Materialy mezhdunarodnoy nauchno–tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 50–letiyu kafedry tekhnologii mashinostroyeniya LGTU. Lipetsk: LGTU – 2012. – S. 3–7.
3. Polokhin, O.V. Narezaniye zubchatykh profiley instrumentami chervyachnogo tipa / O.V. Polokhin, A.S. Tarapanov, G.A. Kharlamov. – M.: Mashinostroyeniye, 2007. – 240 s.
4. Gerth, J. et al. On the wear of PVD – coated HSS hobs in dry gear cutting // Wear. – 2009. – T. 266. – №. 3. – C. 444–452.
5. Rech, J. Influence of cutting edge preparation on the wear resistance in high speed dry gear hobbing // Wear. – 2006. – T. 261. – №. 5. – S. 505–512.
6. Bouzakis, K.D. et al. Determination of chip geometry and cutting forces in gear hobbing by a FEM–based simulation of the cutting process // Proceedings of the 8th CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations, Chemnitz. – 2005. – S. 49 – 58.
7. Klocke F., Gorgels C., Herzhoff S. Tool load during multi–flank chip formation // Advanced Materials Research. – 2011. – T. 223. – S. 525–534.
8. Arrazola P. J. et al. Recent advances in modelling of metal machining processes // CIRP Annals–Manufacturing Technology. – 2013. – T. 62. – №. 2. – S. 695–718.
9. Kalashnikov, A.S. Tekhnologiya izgotovleniya zubchatykh koles / A.S. Kalashnikov. – M.: Mashinostroyeniye, 2004. – 452 s.
10. Pismanik, K.M. Stanki dlya obrabotki konicheskikh zubchatykh koles / K.M. Pismanik, L.I. Sheyko, V.M. Denisov. – M.: Mashinostroyeniye. – 1993. – 332 s.
11. Kharlamov, G.A. Teoriya proyektirovaniya protsessov lezviynoy obrabotki / G.A. Kharlamov, A.S. Tarapanov. – M.: Mashinostroyeniye, 2003. – 259 s.

#### **Kanatnikov Nikita Vladimirovich**

«OSU named after I.S. Turgenev» Orel  
Cand. of Tech. Sc., associate professor  
of the department «Design–technological maintenance  
of mechanical engineering productions»,  
302026, Orel, Komsomolskaya st., 95  
Ph.: + 7 (4862) 419895  
E-mail: NKanatnikov@yandex.ru

#### **Kanatnikova Polina Andreevna**

«OSU named after I.S. Turgenev» Orel  
master second year students of the Department  
«Information systems»

#### **Harlamov Gennadiy Andreevich**

«OSU named after I.S. Turgenev» Orel  
Doc. of Tech. Sc., professor  
of the department «Design–technological maintenance of  
mechanical engineering productions»,  
302026, Orel, Komsomolskaya st., 95  
Ph.: + 7 (4862) 419895  
E-mail: awj@list.ru

#### **Pashmentova Anna Sergeevna**

«OSU named after I.S. Turgenev» Orel  
master second year students of the Department  
«Instrumentation, metrology and certification»

## **КОНСТРУИРОВАНИЕ,** **РАСЧЕТЫ, МАТЕРИАЛЫ**

УДК 621.778.1.004

Е.В. КУЗНЕЦОВ

### **АНАЛИЗ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ТВЁРДЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕЛ**

*Рассмотрены общие закономерности, которые определяют волновую природу пластической деформации твёрдых кристаллических тел, например металлов и их сплавов. Показано, что в основе синергетического процесса её образования лежит механизм, заключающийся во взаимосвязанных изменениях термодинамических потенциалов деформируемого объёма. Установлена связь между величиной этих изменений и поведением твёрдого кристаллического тела при его деформировании, а также в послеоперационный период. Полученные результаты позволяют оптимизировать технологические процессы механической обработки конструкционных материалов с учётом их естественных свойств и особенностей поведения в заданных условиях.*

**Ключевые слова:** релаксация, осцилляции, синергетика, самоорганизация, волна пластической деформации, механическое действие, термодинамические потенциалы, функция управления, адаптивный отклик.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Bell, J.F. Mechanics of Solids // Encyclopedia of Physics. Truesdell C. (Ed.) – Vol. VIa/1. – Berlin: Springer-Verlag, 1973. – 813 p. (Перевод: Белл Дж. Ф. Экспериментальные основы механики деформируемых твёрдых тел. – М.: Наука. Главная редакция физ-мат. лит-ры, 1984. – Ч. I. Малые деформации. – 600 с.; Ч. II. Конечные деформации. – 432 с.).
2. Панин, В.Е. Методология физической мезомеханики как основа построения моделей в компьютерном конструировании материалов / В.Е. Панин // Известия вузов. Физика. – 1995. – Т. 38, № 11. – С. 6 – 25.
3. Данилов, В.И. Волновые эффекты при пластическом течении поликристаллического Al / В.И. Данилов, Л.Б. Зуев, И.М. Мних и др. // Физика металлов и металловедение. – 1991. – № 3. – С. 188 – 194.
4. Данилов, В.И. Автоволны локализованной деформации на начальной стадии пластического течения монокристаллов / В.И. Данилов, С.А. Баранникова, Л.Б. Зуев // Журнал технической физики. – 2003. – Т. 73, вып. 11. – С. 69 – 75.
5. Данилов, В.И. Макролокализация пластической деформации и стадийность пластического течения в поликристаллических металлах и сплавах / В.И. Данилов, Л.Б. Зуев // Успехи физики металлов. – 2008. – Т. 9. Вып. 4. – С. 61 – 83.
6. Yoshida, S. Comprehensive Description of Deformation of Solids as Wave Dynamics / S. Yoshida // Mathematics and Mechanics of Complex Systems. – 2015. – Vol. 3, № 3. – P. 243 – 272.
7. Haken, H. Advanced Synergetics. Instabilities of Self-Organizing Systems and Devices. – Berlin: Springer-Verlag; Springer series in Synergetics, 1983. – Vol. 20. – 356 p. (Перевод: Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей с самоорганизующихся системах и устройствах. – М.: Мир, 1985. – 419 с.).
8. Haken, H. Information and Self-Organization: A Macroscopic Approach to Complex Systems / H. Haken. – 3-rd ed. – Berlin: Springer, 2006. – 257 s.
9. Морозенко В.Н., Кузнецов Е.В. Резонансный вибропластический эффект / В.Н. Морозенко, Е.В. Кузнецов // Металлы. – 2000. – № 3. – С. 104 – 107.
10. Воронцов А.Л. Теория и расчёты процессов обработки металлов давлением. В 2-х т. / А.Л. Воронцов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – Т. 1. – 393 с.; Т. 2. – 431 с.
11. Горохов, Ю.В. Основы проектирования процессов непрерывного прессования металлов / Ю.В. Горохов, Н.Н. Шеркунов, Н.Н. Довженко, и др. – Красноярск: Изд-во Сибирского федерального ун-та, 2013. – 224 с.



12. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. В 10-ти т. Т. VII. Теория упругости / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит-ры., 1987. – 248 с.
13. Evans, D.J. Fluctuation Theorem for Hamiltonian Systems: Le Chatelier's Principle / D.J. Evans, D.J. Searles, E. Mittag // *Physical Review E*. – 2001. – Vol. 63, Iss.5. – p. 051105/1 – 051105/4.
14. Квасников, И.М. Термодинамика и статистическая физика: Т. 1. Теория равновесных систем: Термодинамика. – 240 с.; Т. 2. Теория равновесных систем: Статистическая физика. – 432 с. – М.: Едиториал УРСС, 2002; Т. 3. Теория неравновесных систем. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 448 с; Т. 4. Квантовая статистика. – М.: КомКнига, 2005. – 352 с.
15. Матвиенко, Ю.Г. Модели и критерии механики разрушения / Ю.Г. Матвиенко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 328 с.
16. Луговской, А.В. Исследование из первых принципов фазовой стабильности и упругих свойств переходных металлов при сверхвысоких давлениях: Диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук: специальность 01.04.07 “Физика конденсированного состояния”. – М., 2015. – 102 с.
17. Кузнецов, Е.В. Условия возникновения в металлах вибропластического резонанса // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением / Е.В. Кузнецов. – 2002. – № 2. – С. 6 – 9.
18. Фридман, Я.Б. Механические свойства металлов / Я.Б. Фридман. – М.: Машиностроение, 1974. – 472 с.
19. Evans, D.J. Comments on the Entropy of Nonequilibrium Steady States / D.J. Evans, L. Rondoni // *Journal of Statistical Physics*. – 2002. – Vol. 109, Iss. 3 – 4. – p. 895 – 920.
20. Кузнецов, Е.В. Синергетические принципы самоорганизации пластической деформации твёрдых кристаллических тел / Е.В. Кузнецов // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2012. – № 3. – С. 38 – 41.
21. Морозенко, В.Н. Эффективность резонансного виброволочения при изготовлении прецизионных изделий машиностроения / В.Н. Морозенко, Е.В. Кузнецов // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. – 2000. – № 11. – С. 28 – 31.
22. Морозенко, В.Н. Закономерность пластического поведения вязкоупругих и вязкопластических сред в условиях их развитой вибропластической деформации. Научное открытие № 185 / В.Н. Морозенко, Р.П. Дидык, Е.В. Кузнецов, В.Ф. Балакин // *Научные открытия (сборник кратких описаний научных открытий, научных идей, научных гипотез – 2001 г.)*. – М. – СПб.: Сударыня, 2002. С. 56 – 58.
23. Алиева Л.И. Процессы комбинированного пластического деформирования и выдавливания / Л.И. Алиева // *Обработка материалов давлением: сборник научных трудов*. – 2016. – № 1 (42). – С. 100 – 108.
24. Werkstoffprüfung von Metallen. In 2 Bänden. / Nitzsche K. – Leipzig: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1963. – Band I: Mechanische Prüfverfahren. – 448 S.

**Кузнецов Евгений Викторович**

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск  
 Кандидат технических наук, доцент кафедры физики  
 E-mail: eugene.kuznetsow@mail.ru

E. V. KUZNETSOV

## ANALYSIS OF THE THERMODYNAMIC MECHANISM OF PLASTIC DEFORMATION OF SOLID CRYSTALLINE BODIES

*There are considered the general conformities that determine the wave nature of plastic deformation of solid crystalline bodies, for example metals and their alloys. It is shown, that the synergistic process of its formation is based at the mechanism, consisting in interconnecting changes of the thermodynamic potentials of the deformable volume. It is established connection between the magnitude of these changes and the behavior of solid crystalline body at its deformation, as well as at the postoperative period. The got results allow to optimize technological processes of machining of structural materials with regard of their natural properties and features of behavior under given conditions.*

**Keywords:** *relaxation, oscillations, synergetic, self-organization, the wave of plastic deformation, mechanical action, thermodynamic potentials, management function, adaptive response.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Bell, J.F. *Mechanics of Solids* // *Encyclopedia of Physics*. Truesdell C. (Ed.) – Vol. VIa/1. – Berlin: Springer-Verlag, 1973. – 813 p. (Перевод: Белл Дж. Ф. Экспериментальные основы механики деформируемых твёрдых тел. – М.: Наука. Главная редакция физ-мат. лит-ры, 1984. – Ч. I. Малые деформации. – 600 с.; Ч. II. Конечные деформации. – 432 с.).

2. Панин, В.Е. Методология физической мезомеханики как основа построения моделей в компьютерном конструировании материалов / В.Е. Панин // Известия вузов. Физика. – 1995. – Т. 38, № 11. – С. 6 – 25.
3. Данилов, В.И. Волновые эффекты при пластическом течении поликристаллического Al / В.И. Данилов, Л.Б. Зуев, И.М. Мних и др. // Физика металлов и металловедение. – 1991. – № 3. – С. 188 – 194.
4. Данилов, В.И. Автоволны локализованной деформации на начальной стадии пластического течения монокристаллов / В.И. Данилов, С.А. Баранникова, Л.Б. Зуев // Журнал технической физики. – 2003. – Т. 73, вып. 11. – С. 69 – 75.
5. Данилов, В.И. Макролокализация пластической деформации и стадийность пластического течения в поликристаллических металлах и сплавах / В.И. Данилов, Л.Б. Зуев // Успехи физики металлов. – 2008. – Т. 9. Вып. 4. – С. 61 – 83.
6. Yoshida, S. Comprehensive Description of Deformation of Solids as Wave Dynamics / S. Yoshida // Mathematics and Mechanics of Complex Systems. – 2015. – Vol. 3, № 3. – P. 243 – 272.
7. Haken, H. Advanced Synergetics. Instabilities of Self-Organizing Systems and Devices. – Berlin: Springer-Verlag; Springer series in Synergetics, 1983. – Vol. 20. – 356 p. (Перевод: Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей с самоорганизующихся системах и устройствах. – М.: Мир, 1985. – 419 с.).
8. Haken, H. Information and Self-Organization: A Macroscopic Approach to Complex Systems / H. Haken. – 3-rd ed. – Berlin: Springer, 2006. – 257 s.
9. Морозенко В.Н., Кузнецов Е.В. Резонансный вибропластический эффект / В.Н. Морозенко, Е.В. Кузнецов // Металлы. – 2000. – № 3. – С. 104 – 107.
10. Воронцов А.Л. Теория и расчёты процессов обработки металлов давлением. В 2-х т. / А.Л. Воронцов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – Т. 1. – 393 с.; Т. 2. – 431 с.
11. Горохов, Ю.В. Основы проектирования процессов непрерывного прессования металлов / Ю.В. Горохов, Н.Н. Шеркунов, Н.Н. Довженко, и др. – Красноярск: Изд-во Сибирского федерального ун-та, 2013. – 224 с.
12. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. В 10-ти т. Т. VII. Теория упругости / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит-ры., 1987. – 248 с.
13. Evans, D.J. Fluctuation Theorem for Hamiltonian Systems: Le Chatelier's Principle / D.J. Evans, D.J. Searles, E. Mittag // Physical Review E. – 2001. – Vol. 63, Iss.5. – p. 051105/1 – 051105/4.
14. Квасников, И.М. Термодинамика и статистическая физика: Т. 1. Теория равновесных систем: Термодинамика. – 240 с.; Т. 2. Теория равновесных систем: Статистическая физика. – 432 с. – М.: Едиториал УРСС, 2002; Т. 3. Теория неравновесных систем. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 448 с; Т. 4. Квантовая статистика. – М.: КомКнига, 2005. – 352 с.
15. Матвиенко, Ю.Г. Модели и критерии механики разрушения / Ю.Г. Матвиенко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 328 с.
16. Луговской, А.В. Исследование из первых принципов фазовой стабильности и упругих свойств переходных металлов при сверхвысоких давлениях: Диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук: специальность 01.04.07 “Физика конденсированного состояния”. – М., 2015. – 102 с.
17. Кузнецов, Е.В. Условия возникновения в металлах вибропластического резонанса // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением / Е.В. Кузнецов. – 2002. – № 2. – С. 6 – 9.
18. Фридман, Я.Б. Механические свойства металлов / Я.Б. Фридман. – М.: Машиностроение, 1974. – 472 с.
19. Evans, D.J. Comments on the Entropy of Nonequilibrium Steady States / D.J. Evans, L. Rondoni // Journal of Statistical Physics. – 2002. – Vol. 109, Iss. 3 – 4. – p. 895 – 920.
20. Кузнецов, Е.В. Синергетические принципы самоорганизации пластической деформации твёрдых кристаллических тел / Е.В. Кузнецов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – № 3. – С. 38 – 41.
21. Морозенко, В.Н. Эффективность резонансного виброволочения при изготовлении прецизионных изделий машиностроения / В.Н. Морозенко, Е.В. Кузнецов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2000. – № 11. – С. 28 – 31.
22. Морозенко, В.Н. Закономерность пластического поведения вязкоупругих и вязкопластических сред в условиях их развитой вибропластической деформации. Научное открытие № 185 / В.Н. Морозенко, Р.П. Дидык, Е.В. Кузнецов, В.Ф. Балакин // Научные открытия (сборник кратких описаний научных открытий, научных идей, научных гипотез – 2001 г.). – М. – СПб.: Сударыня, 2002. С. 56 – 58.
23. Алиева Л.И. Процессы комбинированного пластического деформирования и выдавливания / Л.И. Алиева // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – 2016. – № 1 (42). – С. 100 – 108.
24. Werkstoffprüfung von Metallen. In 2 Bänden. / Nitzsche K. – Leipzig: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1963. – Band I: Mechanische Prüfverfahren. – 448 S.

### **Kuznetsow Eugene Victorovich**

The National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk

The Candidate of Technical Sciences, a full member of the International Academy of Authors of Scientific Discoveries and Inventions, an Associate Professor of the Department of Physics.

E-mail: eugene.kuznetsow@mail.ru

УДК 621.82 – 048.34

Ю.С. КОРНЕЕВ, Е.Н. КОРНЕЕВА

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПУСКОЗАЩИТНЫХ МУФТ

*В статье представлен алгоритм определения оптимальных значений параметров пускозащитных муфт.*

**Ключевые слова:** муфта, момент, машина.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. АС 418645 (СССР). Центробежная пусковая муфта/ Авт.изобрет. Кобцев Б.Г., Коськин В.Н. – заявл. 31.01.1972 №1741625/25–27, опубл. 05.03.1974.
2. Корнеева, Е.Н. Метод интегрирования по шагам для решения уравнений динамики. / Е.Н. Корнеева, Ю.С. Корнеев, В.А. Гордон // Мир транспорта и технологических машин.– Орел: ОрелГТУ. – 2009. – № 3/26 (570). – С. 65–69.
3. Корнеев, Ю.С. Расчет и проектирование пускозащитной муфты. / Ю.С. Корнеев, Е.Н. Корнеева, Н.А. Играскина // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2013. – № 5(301). – С. 22 – 26.
4. Поляков, В.С. Муфты. Конструкции и расчет / В.С. Поляков, И.Д. Барбаш. – Л.: Машиностроение, 1973. – 336 с.
5. Поляков, В.С. Справочник по муфтам / В.С. Поляков, И.Д. Барбаш, О.А. Ряховский. – Л.: Машиностроение, 1979. – 344 с.
6. Аглицкий, Д.С. Компьютер в офисе и дома / Д.С. Аглицкий, С.А. Любченко. – М.:ИНФРА–М, 1997. – 320 с.

#### **Корнеев Юрий Степанович**

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

#### **Корнеева Елена Николаевна**

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева  
Кандидат технических наук, доцент  
Тел.: 41–98–48

---

Yu.S. KORNEEV, E.N. KORNEEVA

## OPTIMIZATION PARAMETERS START-PROTECTIVE CLUTCH

*The algorithm of determination of optimal values of parameters of start-protective clutch is in-process presented.*

**Keywords:** clutch, moment, machine.

### BIBLIOGRAPHY

1. AS 418645 (SSSR). Tsentrobezhnaya puskovaya mufta/ Avt.izobret. Kobtsev B.G., Koskin V.N. – zavavl. 31.01.1972 №1741625/25–27, opubl. 05.03.1974.
2. Korneyeva, Ye.N. Metod integrirovaniya po shagam dlya resheniya uravneniy dinamiki. / Ye.N. Korneyeva, YU.S. Korneyev, V.A. Gordon // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin.– Орел: ОрелГТУ. – 2009. – № 3/26 (570). – S. 65–69.
3. Korneyev, YU.S. Raschet i proyektirovaniye puskozashchitnoy mufty. / YU.S. Korneyev, Ye.N. Korneyeva, N.A. Igrashkina // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – Орел: Gosuniversitet – UNPK. – 2013. – № 5(301). – S. 22 – 26.
4. Polyakov, V.S. Mufty. Konstruktsii i raschet / V.S. Polyakov, I.D. Barbash. – L.: Mashinostroyeniye, 1973. – 336 s.
5. Polyakov, V.S. Spravochnik po muftam / V.S. Polyakov, I.D. Barbash, O.A. Ryakhovskiy. – L.: Mashinostroyeniye, 1979. – 344 s.
6. Aglitskiy, D.S. Kompyuter v ofise i doma / D.S. Aglitskiy, S.A. Lyubchenko. – M.:INFRA–M, 1997. – 320 s.

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

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

УДК 621.8

М.А. КОЖУХОВ, А.В. СЫТИН, М.В. БЫЧКОВ

## РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ ЛЕПЕСТКА В РЕЖИМЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ОПОРЫ

*В статье рассматривается комбинированная опора высокоскоростного ротора, управление режимами работы которой осуществляется через упругие элементы, выполненные в виде лепестков. Представлена схема и описание принципа работы опоры высокоскоростного роторного агрегата. Выведены математические зависимости расчета основных характеристик лепестка, на основе теории упругости, в переходных режимах функционирования опоры. Приведены графики траекторий пуска, номинальной работы и останова ротора, на основе которых дается описание поведения комбинированной опоры.*

**Ключевые слова:** комбинированная опора ротора (КОР); упругие элементы; механизм переключения режима работы, расчет лепестка, теория упругости, теория балок.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2228470 Российская Федерация, МПК F16C21/00. Комбинированная опора / Поляков Р.Н., Савин Л.А., Соломин О.В., Пугачев А.О.; заявитель и патентообладатель Орловский государственный технический университет. – № 2002131736/09; заявл. 14.11.2002; опубл. 10.05.2004, Бюл. № 2. – 3 с.
2. Кожухов М.А., Шевелев А.В., Сытин А.В. Методики проведения расчета деформаций упругих элементов лепесткового комбинированного подшипникового узла / М.А. Кожухов, А.В. Шевелев, А.В. Сытин // Сборник научных статей II Международной научно–технической конференции. - Курск, 2016. – 229 с.
3. Перель, Л.Я. Подшипники качения: Расчет, проектирование и обслуживание опор: Справочник / Л.Я. Перель, А.А. Филатов.– 2–е изд., перераб. и доп.– М.: Машиностроение, 1992. – 608 с.
4. Савин, Л.А. Моделирование роторных систем с опорами жидкостного трения: монография / Л.А. Савин, О.В. Соломин. М.: Машиностроение – 1, 2006. – 424 с.
5. Бейзельман, Р.Д. Подшипники качения. Справочник / Р.Д. Бейзельман, Б.В. Цыпкин, Л.Я. Перель // – Изд. 6–е, перераб. и доп. М., «Машиностроение», 1975. - 572 с.
6. Решетов, Д.Н. Детали машин. Учебник для вузов / Д.Н. Решетов. Изд. 4–е. М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.
7. Хешмет, Уоловит, Пинкус. Анализ газового ленточного радиального подшипника / Хешмет, Уоловит, Пинкус // Проблемы трения и смазки, 1983. - № 4.
8. Хешмет, Уоловит, Пинкус. Анализ податливого газового упорного подшипника / Хешмет, Уоловит, Пинкус // Проблемы трения и смазки, 1983. - № 4.
9. Леонов, В.П. Лепестковые газовые подшипники турбомашин: Метод. пособие по курсу «Турбомшины низкотемпературной техники» / В.П. Леонов, Т.И. Максимович.– М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.– 60 с.
10. Пешти, Ю.В. Газовая смазка: Учебник для машиностроительных специальностей вузов / Ю. В. Пешти.– М.: Изд–во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1993. – 380 с.
11. Савин, Л.А. Теоретические основы расчета и динамика подшипников скольжения с парожидкостной смазкой: дис. д-ра техн. наук: 01.02.06 / Савин Леонид Алексеевич. – Оrel, 1998. – 352 с.

**Кожухов Максим Алексеевич**  
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С.  
Тургенева», г. Орел  
Аспирант  
Тел.: 89534757444  
E-mail: maksimkkozuhov@mail.ru

**Сытин Антон Валерьевич**  
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С.  
Тургенева», г. Орел  
Кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Мехатроника и  
международный инжиниринг»  
Тел.: 89192046050

**Бычков Михаил Владимирович**  
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С.  
Тургенева», г. Орел  
Аспирант  
Тел.: 89534721742  
E-mail: alarahan2008@yandex.ru

M.A. KOZHUHOV, A.V. SYTIN, M.V. BYCHKOV

## CALCULATION OF ELASTIC ELEMENT DEFORMATION DURING THE REGIME SWITCH OF A COMBINED BEARING

*The present paper considers a combined bearing of a high-speed rotor, where control of operation regimes is implemented with the elastic elements, namely foils. A diagram and the description of operation of the bearing are presented. Mathematical expressions are shown for calculation of basic characteristics of a foil during the transition regimes of operation using the theory of elasticity. Trajectory charts are shown for the regimes of starting, stable operation and stopping of the rotor, and based on them the analysis is presented of the behavior of the combined bearing.*

**Keywords:** combined bearing (CB); elastic elements; switch mechanism; foil calculation; theory of elasticity; beam theory.

### BIBLIOGRAPHY

1. Pat. 2228470 Rossiyskaya Federatsiya, MPK F16C21 / 00. Kombinirovannaya opora / Polyakov R.N., Savin L.A., Solomin O.V., Pugachev A.O.; Zayavitel i patentoobladatel' Orlovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet. – № 2002131736/09; Zayavl. 14.11.2002; Opubl. 10.05.2004, Byul. № 2. – 3 s.
2. Kozhuhov M.A., Shevelev A.V., Sytin A.V. Metodiki provedeniya rascheta deformacij uprugih ehlementov lepestkovogo kombinirovannogo podshipnikovogo uzla. – Sbornik nauchnyh statej II Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, Kursk 2016. – 229 s.
3. Perel L.YA. Podshipniki kacheniya: Raschet, proektirovanie i obsluzhivanie opor: Spravochnik / L.YA. Perel, A.A. Filatov. – 2–e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie, 1992. – 608 s.: il.
4. Savin, L.A. Modelirovanie rotornyh sistem s oporami zhidkostnogo treniya: monografiya / L.A. Savin, O.V. Solomin. M.: Mashinostroenie – 1, 2006. – 424 s.
5. Bejzelman R.D. Podshipniki kacheniya. Spravochnik [Tekst] / R.D. Bejzelman, B.V. Cypkin, L.YA. Perel // – Izd. 6–e, pererab. i dop. M., «Mashinostroenie», 1975, 572 s.
6. Reshetov D.N. Detali mashin. Uchebnik dlya vuzov / D.N. Reshetov. Izd. 4–e. M.: Mashinostroenie, 1989. – 496 s.
7. Heshmet, Uolovit, Pinkus. Analiz gazovogo lentochnogo radialnogo podshipnika. – Problemy treniya i smazki, 1983, № 4.
8. Heshmet, Uolovit, Pinkus. Analiz podatlivogo gazovogo upornogo podshipnika. – Problemy treniya i smazki, 1983, №4.
9. Leonov, V.P. Lepestkovye gazovye podshipniki turbomashin: Metod. posobie po kursu «Turbomashiny nizkotemperaturnoj tekhniki» / V.P. Leonov, T.I. Maksimovich. – M.: Izd-vo MGTU im. N.EH. Bauman, 2002. – 60 s.
10. Peshti YU.V. Gazovaya smazka: Uchebnik dlya mashinostroitelnyh specialnostej vuzov / YU. V. Peshti. – M.: Izd-vo MGTU im. N.EH. Bauman, 1993. – 380 s.
11. Savin L.A. Teoreticheskie osnovy rascheta i dinamika podshipnikov skolzheniya s parozhidkostnoj smazkoj: dis. d-ra tekhn. nauk: 01.02.06 / Savin Leonid Alekseevich. – Orel, 1998. – 352 s.

**Kozhuhov Maksim Alekseevich**  
FGBOU VO «OGU named after I.S. Turgenev», g. Orel  
Graduate  
Tel.: 89534757444  
E-mail: maksimkakozhuhov@mail.ru

**Sytin Anton Valerevich**  
FGBOU VO «OGU named after I.S. Turgenev», g. Orel  
Candidate of technical Sciences,  
associate Professor of «Mechatronics  
and international engineering»  
Tel.: 89192046050  
E-mail: sytin@mail.ru

**Bychkov Mihail Vladimirovich**  
FGBOU VO «OGU named after I.S. Turgenev», g. Orel  
Graduate  
Tel.: 89534721742  
E-mail: alarahan2008@yandex.ru

УДК 629.4.027.4: 656.2

С.Н. ЗЛОБИН, О.В. ИЗМЕРОВ, С.О. КОПЫЛОВ

# ВОПРОСЫ СНИЖЕНИЯ ФРИКЦИОННЫХ АВТОКОЛЕБАНИЙ В НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЕ ТЯГОВОГО ПРИВОДА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

*Рассмотрена задача снижения касательных напряжений в оси колесной пары локомотива при автоколебаниях в режиме боксования. Предложено рассеивать энергию автоколебаний за счет соударений зубьев колес тяговой передачи и субгармонических резонансных колебаний масс колесно–моторного блока. Определены критерии оценки эффективности виброгашения.*

**Ключевые слова:** проблемы создания новой техники, тяговый привод локомотива, фрикционные автоколебания, виброударные процессы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павленко, А.П. Динамика тяговых приводов магистральных локомотивов: моногр. / А.П. Павленко. – М.: Машиностроение, 1991. – 192 с.
2. Добрынин, Л.К. Уровень динамических нагрузок в трансмиссиях тепловозов с гидropередачами при боксовании / Л.К. Добрынин, В.А. Лысак, Ю.Н. Соколов // Тр. ВНИТИ. – Коломна, 1966. – Вып. 22. – С. 93–100.
3. Лысак, В.А. Крутильные колебания колесных пар локомотивов, возникающие при боксовании / В.А. Лысак // Исследования динамики локомотивов: тр. ВНИТИ. – Коломна, 1966. – Вып. 22. – С. 101–108.
4. Лысак, В.А. Исследование фрикционных автоколебаний колесных пар локомотивов / В.А. Лысак // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Харьков, 1972, – 22 с.
5. Литвинов, А.Т. Динамические нагрузки в тяговом приводе тепловоза 2ТЭ121: статья / А.Т. Литвинов, Е.П. Акишин, Ф.Г. Вербер, В.А. Лысак, В.С. Авраменко, В.И. Власов, О.В. Измеров, В.В. Кочергин // Результаты испытаний тепловоза 2ТЭ121. Тр. ВНИТИ, 1985 – вып. 62. – С. 119–130.
6. Результаты динамических испытаний привода колесных пар при опорно–рамном подвешивании тягового электродвигателя. Отчет ВНИТИ № И–61–73, гос. № 71018244. – Коломна, 1973. – 57 с.
7. Коропец, П.А. Динамический гаситель автоколебаний колесной пары: статья / П.А. Коропец // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения, 2002. – С. 41–44.
8. Кобринский, А.Е. Виброударные системы (Динамика и устойчивость): монография / А.Е. Кобринский, А.А. Кобринский. – М., «Наука», 1973. – 592 с.
9. Концепция развития энергосберегающих электромеханических систем: монография / А.С. Космодамианский [и др.]; под ред. академика Академии электротехн. наук Рос. Федерации, д–ра техн. наук, проф. А.С. Космодамианского. – Орел: Госуниверситет – УНПК, 2014. – 244 с.
10. Лундберг, К.Г. Электровоз серии Rm для рудовозной дороги Кируна–Нарвик: статья / К.Г. Лундберг // Железные дороги мира, 1979, №1. – С. 25–28.
11. Кочергин, В.В. Экспериментальное исследование тяговых приводов локомотивов: статья / В.В. Кочергин. // Вестник ВНИИЖТ, 1977, № 8. – С. 7–10.
12. Повышение надежности экипажной части тепловозов: моногр. / А.И. Беляев, Б.Б. Бунин, С.М. Голубятников [и др.]; под ред. Л.К. Добрынина. – М.: Транспорт, 1984. – 248 с.
13. Евстратов, А.С. Экипажные части тепловозов: монография / А.С. Кочергин. – М., Машиностроение, 1987. – 136 с.
14. Исследование динамики тягового электродвигателя с упругой резино–металлической подвеской на тепловозе 2ТЭ116. Отчет ВНИТИ № И–72–80, гос. № 79017846. – Коломна, 1980. – 46 с.

**Злобин Сергей Николаевич**  
ФГБОУ ВО ОГУ им. И.С.  
Тургенева  
Кандидат технических наук,  
доцент кафедры технологических  
процессов, машин и оборудования

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

**Копылов Степан Олегович**  
Брянский государственный  
технический университет, г. Брянск  
Аспирант кафедры «Подвижной  
состав железных дорог»  
E-mail: kopylov.stepan@gmail.com

# METHODS TO DECREASE FRICTIONAL SELF-OSCILLATIONS IN NONLINEAR SYSTEM OF THE LOCOMOTIVE TRACTION DRIVE

*The problem to decrease the tangent tension in the locomotive axle for wheel-slip mode is considered. It is offered to disseminate energy of self-oscillations due to impacts of teeth of wheels of traction transfer and subharmonic resonant fluctuations of mass of the wheel and motor block. Criteria of an assessment of efficiency of vibroclearing are defined.*

**Keywords:** *problems of creation of new equipment, locomotive traction drive, frictional self-oscillations, vibroshock processes.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Pavlenko, A.P. Dinamika tyagovykh privodov magistralnykh lokomotivov: monogr. / A.P. Pavlenko. – M.: Mashinostroyeniye, 1991. – 192 s.
2. Dobrynin, L.K. Uroven dinamicheskikh nagruzok v transmissiyakh teplovozov s gidroperedachami pri boksovaniy / L.K. Dobrynin, V.A. Lysak, YU.N. Sokolov // Tr. VNITI. – Kolomna, 1966. – Vyp. 22. – S. 93–100.
3. Lysak, V.A. Krutilnyye kolebaniya kolesnykh par lokomotivov, vznikayushchiye pri boksovaniy / V.A. Lysak // Issledovaniya dinamiki lokomotivov: tr. VNITI. – Kolomna, 1966. – Vyp. 22. – S. 101–108.
4. Lysak, V.A. Issledovaniye friktsionnykh avtokolebaniy kolesnykh par lokomotivov / V.A. Lysak // Avtoreferat dissertatsii na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. – Kharkov, 1972, – 22 s.
5. Litvinov, A.T. Dinamicheskiye nagruzki v tyagovom privode teplovoza 2TE121: statya / A.T. Litvinov, Ye.P. Akishin, F.G. Verber, V.A. Lysak, V.S. Avramenko, V.I. Vlasov, O.V. Izmerov, V.V. Kochergin // Rezultaty ispytaniy teplovoza 2TE121. Tr. VNITI, 1985 – vyp. 62. – S. 119–130.
6. Rezultaty dinamicheskikh ispytaniy privoda kolesnykh par pri oporno-rannom podveshivaniy tyagovogo elektrodvigatelya. Otchet VNITI № I-61–73, gos. № 71018244. – Kolomna, 1973. – 57 s.
7. Koropets, P.A. Dinamicheskiy gasitel avtokolebaniy kolesnoy pary: statya / P.A. Koropets // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya, 2002. – S. 41–44.
8. Kobrinskiy, A.Ye. Vibroudarnyye sistemy (Dinamika i ustoychivost): monografiya / A.Ye. Kobrinskiy, A.A. Kobrinskiy. – M., «Nauka», 1973. – 592 s.
9. Kontseptsiya razvitiya energosberegayushchikh elektromekhanicheskikh sistem: monografiya / A.S. Kosmodamianskiy [i dr.]; pod red. akademika Akademii elektrotekhn. nauk Ros. Federatsii, d-ra tekhn. nauk, prof. A.S. Kosmodamian-skogo. – Orel: Gosuniversitet – UNPK, 2014. – 244 s.
10. Lundberg, K.G. Elektrovoz serii Rm dlya rudovoznoy dorogi Kiruna-Narvik: statya / K.G. Lundberg // Zheleznyye dorogi mira, 1979, №1. – S. 25–28.
11. Kochergin, V.V. Eksperimentalnoye issledovaniye tyagovykh privodov lokomotivov: statya / V.V. Kochergin. // Vestnik VNIIZHT, 1977, № 8. – S. 7–10.
12. Povysheniye nadezhnosti ekipazhnoy chasti teplovozov: monogr. / A.I. Belyayev, B.B. Bunin, S.M. Golubyatnikov [i dr.]; pod red. L.K. Dobrynina. – M.: Transport, 1984. – 248 s.
13. Yevstratov, A.S. Ekipazhnyye chasti teplovozov: monografiya / A.S. Kochergin. – M., Mashinostroyeniye, 1987. – 136 s.
14. Issledovaniye dinamiki tyagovogo elektrodvigatelya s uprugoy rezino-metallicheskoj podveskoj na teplovoze 2TE116. Otchet VNITI № I-72–80, gos. № 79017846. – Kolomna, 1980. – 46 s.

**Zlobin Sergej Nikolaevich**  
FGBOU IN OGU them. I.S. Turgenev  
Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor of the  
Department of Technological  
Processes, Machinery and Equipment

**Izmerov Oleg Vasilevich**  
Bryansk State Technical University,  
Bryansk  
Competitor of the Department  
«Railroad rolling stock»  
E-mail: izmerov@yandex.ru

**Kopylov Stepan Olegovich**  
Bryansk State Technical University,  
Bryansk  
Graduate student of the Department  
«Railroad rolling stock»  
E-mail: kopylov.stepan@gmail.com

## МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИНСТРУМЕНТЫ

УДК 621.914

А.А. МУРАВЬЕВ, А.С. ТАРАПАНОВ

**ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ АДДИТИВНЫХ**

# ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

*В статье дается обоснование экономической эффективности применения аддитивного метода формообразования. На примере нескольких деталей разной конфигурации показана эффективность их формообразования субтрактивными, формативными, аддитивными и смешанными методами. Аддитивные технологии позволяют в разы быстрее и дешевле изделия сложной геометрической формы. Если перед технологом ставится задача изготовления деталей еще и облегченной конструкции с необходимостью формирования внутренних полостей и каналов аддитивные методы не имеют какой-либо видимой конкуренции.*

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, 3D печать, технологический процесс, экономическая эффективность.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Marshall Burns Automated fabrication: improving productivity in manufacturing. – Englewood Cliffs, N.J.: PTR Prentice Hall, 1993. – 369 p.
2. Вальтер, А.В. Послойный синтез армированных объемных изделий /А.В. Вальтер // ГИАБ. - 2011. №2 - С. 222-229.
3. Муравьев, А.А. Перспективы аддитивных технологий в машиностроении / А.А. Муравьев, Н.А. Бармина, Т.Н. Шаблинская // Региональная научно-практическая конференция им. А.Г. Шипунова: материалы III региональной научно-практической конференции (1 апреля 2016 г., г. Ливны). – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2016. (219) - С. 36-41.
4. Зленко, М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. - 220 с.
5. Барсуков, Г.В. Прорывные технологии нового поколения формообразования пространственно-сложных поверхностей наукоемких изделий / Е.Ю. Степанова, Г.В. Барсуков, Ю.С. Степанов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 8. Ч. 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. (349). С. 243-249.
6. Барсуков, Г.В. Перспективы применения 3D инноваций в автомобильной промышленности / Е.Ю. Степанова, Г.В. Барсуков, Е.А. Збинякова // Вестник Брянского государственного технического университета. - № 1. - Т. 2. - 2016. - С. 60-66.
7. Степанова, Е.Ю. Влияние аддитивных технологий на экономику наукоемких отраслей промышленности: роль многоуровневых интегрированных компаний / Е.Ю. Степанова // Экономические и гуманитарные науки. - 2016. - № 1 (288). С. 54-64.
8. Сычев, Е.А. Эффективность селективного лазерного спекания при изготовлении деталей сложной формы в машиностроении / Е.А. Сычев, А.С. Тарапанов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2016. - № 5. – С. 106-110.
9. Степанова, Е.Ю. Аддитивные технологии как прорывные инновации ресурсосбережения 21 века / Е.Ю. Степанова // Энерго- и ресурсосбережение - XXI век: XIII Международная научно-практическая Интернет-конференция, 15 марта – 30 июня 2015 г., г. Орел. - Орел: Госуниверситет – УНПК, 2015. – С. 124-128.
10. Барсуков, Г.В. Аддитивные технологии - технологические приоритеты мировой и отечественной экономики /Е.Ю. Степанова, Г.В. Барсуков // Новые решения в области упрочняющих технологий: взгляд молодых специалистов: сборник научных статей. Материалы Международной научно-практической конференции (22-23 декабря 2016 года) / редкол.: Романенко Д.Н. (отв. ред.); Юго-Зап. гос. ун-т. В 2-х томах, Том 2. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2016. С. 291-294.
11. Технология многоструйного моделирования (MJM) / Энциклопедия 3D-печати. - URL: [http://3dtoday.ru/wiki/MJM\\_print/](http://3dtoday.ru/wiki/MJM_print/) (дата обращения 22.11.2016).

### **Муравьев Андрей Александрович**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орел  
Аспирант кафедры «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»  
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95  
Tel.: (4862) 751-318)  
E-mail: andrei-20101@yandex.ru

### **Тарапанов Александр Сергеевич**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орел  
Доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры  
«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»  
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95  
Tel.: (4862) 751-318)  
E-mail: tarapanov@rambler.ru



A.A. MURAVEV, A.S. TARAPANOV

## RATIONALE AND EFFECTIVENESS OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING

*This article explains the rationale of economic efficiency of use of the additive method of formation. For example, several different configurations of parts shows the effectiveness of their subtractive shaping, formative, additive and mixed methods. Additive technologies allow much faster and cheaper products of complex geometric shapes. If the technologist before the task of manufacturing parts and more lightweight design with the need to develop internal cavities and channels additive methods do not have any apparent competition.*

**Keywords:** additive technology, 3D printing process, economic efficiency.

### BIBLIOGRAPHY

1. Marshall Burns Automated fabrication: improving productivity in manufacturing. – Englewood Cliffs, N.J.: PTR Prentice Hall, 1993. – 369 p.
2. Valter, A.V. Poslojnyj sintez armirovannyh ob#emnyh izdelij /A.V. Valter // GIAB. - 2011. №2 - S. 222-229.
3. Muravev, A.A. Perspektivy additivnyh tehnologij v mashinostroenii / A.A. Muravev, N.A. Bar-mina, T.N. Shablinskaja // Regionalnaja nauchno-prakticheskaja konferencija im. A.G. Shipunova: materialy III regionalnoj nauchno-prakticheskaj konferencii (1 aprelja 2016 g., g. Livny). – Orel: OGU imeni I.S. Turge-neva, 2016. (219) - C. 36-41.
4. Zlenko, M.A. Additivnye tehnologii v mashinostroenii / M.V. Nagajcev, V.M. Dovbysh // posobie dlja inzhenerov. – M. GNC RF FGUP «NAMI», 2015. - 220 s.
5. Barsukov, G.V. Proryvnye tehnologii novogo pokolenija formoobrazovanija prostranstvenno-slozhnyh poverhnostej naukoemkih izdelij / E.Ju. Stepanova, G.V. Barsukov, Ju.S. Stepanov // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki. Vyp. 8. Ch. 2. Tula: Izd-vo TulGU, 2016. (349). S. 243-249.
6. Barsukov, G.V. Perspektivy primenenija 3D innovacij v avtomobilnoj promyshlennosti / E.Ju. Stepanova, G.V. Barsukov, E.A. Zbinjakova // Vestnik Brjanskogo gosudaostvennogo tehničeskogo universiteta. - № 1. - T. 2. - 2016. - S. 60-66.
7. Stepanova, E.Ju. Vlijanie additivnyh tehnologij na jekonomiku naukoemkih otraslej promyshlennosti: rol mnogourovnevnyh integrirovannyh kompanij / E.Ju. Stepanova // Jekonomicheskie i gumanitarnye nauki. - 2016. - № 1 (288). S. 54-64.
8. Sychev, E.A. Jeffektivnost selektivnogo lazernogo spekanija pri izgotovlenii detalej slozhnoj formy v mashinostroenii / E.A. Sychev, A.S. Tarapanov // Fundamentalnye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2016. - № 5. – S. 106-110.
9. Stepanova, E.Ju. Additivnye tehnologii kak proryvnye innovacii resursosberezhenija 21 veka / E.Ju. Stepanova // Jenergo- i resursosberezhenie - XXI vek: XIII Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja Inter-net-konferencija, 15 marta – 30 ijunja 2015 g., g. Orel. - Orel: Gosuniversitet – UNPK, 2015. – S. 124-128.
10. Barsukov, G.V. Additivnye tehnologii - tehnologicheskie prioritety mirovoj i otechestvennoj jekonomiki /E.Ju. Stepanova, G.V. Barsukov // Novye reshenija v oblasti uprochnjajushhh tehnologij: vzgljad mo-lodyh specialistov: sbornik nauchnyh statej. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskaj konferencii (22-23 dekabnja 2016 goda) / redkol.: Romanenko D.N. (otv. red.); Jugo-Zap. gos. un-t. V 2-h tomah, Tom 2. Kursk: ZAO «Universitetskaja kniga», 2016. S. 291-294.
11. Tehnologija mnogostrujnogo modelirovanija (MJM) / Jenciklopedija 3D-pechat. - URL: [http://3dtoday.ru/wiki/MJM\\_print/](http://3dtoday.ru/wiki/MJM_print/) (data obrashhenija 22.11.2016).

#### **Muravev Andrei Aleksandrovich**

Orel State University named  
after I. S. Turgenev  
Postgraduate  
302026, Orel, st. Komsomolskaya, 95  
Tel.: (4862) 751-318  
E-mail: andrei-20101@yandex.ru

#### **Tarapanov Aleksander Sergeevich**

Orel State University named  
after I. S. Turgenev  
Doctor of technical sciences, professor  
302026, Orel, st. Komsomolskaya, 95  
Tel.: (4862) 751-318  
E-mail: tarapanov@rambler.ru

В.П. СМОЛЕНЦЕВ, М.В. КОНДРАТЬЕВ, В.В. ИВАНОВ, Е.В. СМОЛЕНЦЕВ

## КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МАТЕРИАЛОВ

*В работе показаны достигнутые и возможные эксплуатационные показатели комбинированных методов обработки, созданных с участием авторов. Приведены рекомендации и примеры использования предложенных способов для повышения эксплуатационных характеристик типовых деталей. Представлены данные для проектирования комбинированных технологических процессов с использованием химических, тепловых, механических воздействий, совместное применение которых использовано впервые и защищено патентами России.*

**Ключевые слова:** Комбинированные способы, эксплуатационные показатели, технологические процессы, патенты, опыт применения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент №2405662 (РФ), В23Н Способ нанесения чугунного покрытия на алюминиевые сплавы/В.П. Смоленцев, А.В. Гребенщиков, А.В. Перова, Б.И. Омигов. Заявка 2009116031 от 27.04.2009.Опубл. 10.12.2010. Бюл. № 34.
2. Смоленцев, В.П. Модификация поверхностного слоя металлических изделий / В.П. Смоленцев, С.В. Сафонов, С.Н. Григорьев, О.Н. Кириллов, Е.В. Смоленцев // Вестник ВГТУ. – Т.11. – № 2. – 2015. – С. 19 – 26.
3. Патент №2318637 (РФ),В23Н Способ электроэрозионного восстановления чугунных деталей /В.П. Смоленцев, О.Н. Кириллов, С.В. Дульцев, М.В. Щипанов. Заявка 2006113860 от 24.04.2006. Опубл. 10.03.2008.Бюл.№ 7
4. Патент №2224827 (РФ), С25D Способ гальвано–механического восстановления токопроводящих деталей /С.Ю. Жачкин, В.В. Лабузов, В.П. Смоленцев, А.И. Болдырев. Заявка 2002102130 от 23.01.2002. Опубл. 27.02.2004. Бюл. № 6.
5. Kadyrmetov, A. M. Efficiency of surface cleaning by a glow discharge for plasma spraying coating // A. M. Kadyrmetov, N. F. Kashapov, S. N. Shari–fullin, A. I. Saifutdinov and S. A. Fadeev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – V. 134. – 012010. – pp. 1–7.
6. Ivanov, V.V. Impoving Wear Resistance of Surface by Depositing Vibrational Vechanochemical Mo S2 Coating. / V.V. Ivanov, V.A. Lebedev, I.A. Pinahin // Journal of Friction and Wear. – 2014. – Vol. 35. – №.4. – pp. 339–342. ISSN 1068–3666 (DOI) 10.3103/S1068366614040059
7. Смоленцев, Е.В. Проектирование электрических и комбинированных методов обработки / Е.В. Смоленцев. – М.: Машиностроение, 2005. – 511 с.
8. Иванов, В.В. Вибрационные механохимические методы нанесения покрытий (цинкование) /В.В. Иванов. – Ростов–н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010. – 142 с.
9. Smolentsev, V.P. The improvement of the flow duct of heat engine sprayers. / V.P. Smolentsev, S.V. Safonov, I.I. Koptev // Sciens and civilization – 2015. Materials of the XI International scientific and practical conference. Volume 25. Technical shiences, sheffield, 2015. – P. 42–48
10. Смоленцев, В.П. Обеспечение качества наукоемкой продукции машиностроения (раздел 4) /В.П. Смоленцев, О.Н. Кириллов, Б.И. Омигов. Монография «Прогрессивные машиностроительные технологии, оборудование и инструменты» под ред. А.В. Киричека. – В 5Т. – Т. 4. – М: Изд. Дом «Спектр», 2014. – С. 175 – 252.
11. Прогрессивные машиностроительные технологии, оборудование и инструменты. Т. II. Коллективная монография / А.Ю. Албагачиев, А.А. Дьяконов, О.Ю. Еренков, В.П. Иванов, О.А. Курсин, А.В. Морозова, Ю.Н. Полянчиков, М.Ю. Полянчикова, В.И. Сотников, Ю.С. Степанов, А.Н. Ткаченко, Д.У. Хасьянова, У. Хасьянов; Под ред. А.В. Киричека. – М.: Издательский дом «Спектр», 2014. – 304 с.

#### **Смоленцев Владислав Павлович**

Воронежский государственный технический университет, кафедра «Технология машиностроения»  
Доктор технических наук, профессор  
394026 Воронеж, Московский.пр.14, ВГТУ.  
Тел.89036559970.  
E-mail: Vsmolen@inbox.ru

#### **Кондратьев Михаил Вячеславович**

Воронежский государственный технический университет, кафедра «Автоматизированное оборудование машиностроительного производства»  
старший преподаватель  
394026 Воронеж, Московский.пр.14, ВГТУ.  
Тел.89529540520.  
E-mail: 540520@mail.ru

#### **Иванов Владимир Витальевич**

Донской государственный технический университет, кафедра «Технология машиностроения»  
кандидат технических наук, доцент  
Ростов на Дону,пл.Гагарина,1, ДГТУ  
Тел.89521050045  
E-mail: vivanov\_dstu@mail.ru

#### **Смоленцев Евгений Владиславович**

Воронежский государственный технический университет, кафедра «Технология машиностроения»  
Доктор технических наук, профессор  
394026 Воронеж, Московский.пр.14, ВГТУ.  
Тел.89107464075.  
E-mail: smolentsev.rabota@gmail.com

## THE IMPROVEMENT QUALITY OF THE SURFACE LAYER OF MATERIALS BY THE COMBINED PROCESSING METHODS

*The authors reached and potentially possible characteristics of the combined processing methods are presented. Recommendations and examples of use of the offered ways for increase in production characteristics of details are given. Data for projection of the combined technological processes of chemical, thermal, mechanical influences which combined use is used for the first time and protected by patents of Russia are submitted.*

**Keywords:** *Combined processing methods, production characteristics, technological processes, patents, experience of application.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Patent №2405662 (RF), V23N Sposob naneseniya chugunnogo pokrytiya na alyuminiyevyye splavy/V.P. Smolentsev, A.V. Grebenshchikov, A.V. Perova, B.I. Omigov. Zayavka 2009116031 ot 27.04.2009. Opubl. 10.12.2010. Byul. № 34.
2. Smolentsev, V.P. Modifikatsiya poverkhnostnogo sloya metallicheskih izdeliy / V.P. Smolentsev, S.V. Safonov, S.N. Grigoryev, O.N. Kirillov, Ye.V. Smolentsev // Vestnik VGTU. – T.11. – № 2. – 2015. – S. 19 – 26.
3. Patent №2318637 (RF), V23N Sposob elektroerozionnogo vosstanovleniya chugunnykh detaley /V.P. Smolentsev, O.N. Kirillov, S.V. Dultsev, M.V. Shchipanov. Zayavka 2006113860 ot 24.04.2006. Opubl. 10.03.2008. Byul. № 7
4. Patent №2224827 (RF), S25D Sposob galvano–mekhanicheskogo vosstanovleniya tokoprovodyashchikh detaley /S.YU. Zhachkin, V.V. Labuzov, V.P. Smolentsev, A.I. Boldyrev. Zayavka 2002102130 ot 23.01.2002. Opubl. 27.02.2004. Byul. № 6.
5. Kadyrmetov, A. M. Efficiency of surface cleaning by a glow discharge for plasma spraying coating // A. M. Kadyrmetov, N. F. Kashapov, S. N. Shari–fullin, A. I. Saifutdinov and S. A. Fadeev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – V. 134. – 012010. – pp. 1–7.
6. Ivanov, V.V. Improving Wear Resistance of Surface by Depositing Vibrational Vechanochemical Mo S2 Coating. / V.V. Ivanov, V.A. Lebedev, I.A. Pinahin // Journal of Friction and Wear. – 2014. – Vol. 35. – №.4. – pp.339–342. ISSN 1068–3666 (DOI) 10.3103/S1068366614040059
7. Smolentsev, Ye.V. Proyektirovaniye elektricheskikh i kombinirovannykh metodov obrabotki / Ye.V. Smolentsev. – M.: Mashinostroyeniye, 2005. – 511 s.
8. Ivanov, V.V. Vibratsionnyye mekhanokhimicheskiye metody naneseniya pokrytiy (tsinkovaniye) /V.V. Ivanov. – Rostov–n/D: Izdatelskiy tsentr DGTU, 2010. – 142 s.
9. Smolentsev, V.P. The improvement of the flow duct of heat engine sprayers. / V.P. Smolentsev, S.V. Safonov, I.I. Koptev // Sciens and civilization – 2015. Materials of the XI International scientific and practical conference. Volume 25. Technical shiences, sheffield, 2015. – P. 42–48
10. Smolentsev, V.P. Obespecheniye kachestva naukoyemkoy produktsii mashinostroyeniya (razdel 4) /V.P. Smolentsev, O.N. Kirillov, B.I. Omigov. Monografiya «Progressivnyye mashinostroitelnyye tekhnologii, oborudovaniye i instrumenty» pod red. A.V. Kiricheka. – V 5T. – T. 4. – M: Izd. Dom «Spektr», 2014. – S. 175 – 252.
11. Progressivnyye mashinostroitelnyye tekhnologii, oborudovaniye i instrumenty. T. II. Kollektivnaya monografiya / A.YU. Albagachiyev, A.A. Dyakonov, O.YU. Yerenkov, V.P. Ivanov, O.A. Kursin, A.V. Morozova, YU.N. Polyanchikov, M.YU. Polyanchikova, V.I. Sotnikov, YU.S. Stepanov, A.N. Tkachenko, D.U. Khasyanova, U. Khasyanov; Pod red. A.V. Kiricheka. – M.: Izdatelskiy dom «Spektr», 2014. – 304 s.

#### **Smolentsev Vladislav Pavlovich**

Voronezh State Technical University, Voronezh  
Doctor of Technical Sciences, professor of the department  
«Technology of Mechanical Engineering»  
394026 Voronezh, Moskovskiy.pr.14, VGTU.  
Tel.89036559970.  
E–mail: Vsmolen@inbox.ru

#### **Ivanov Vladimir Vitalyevich**

Donskoy state technical university, Rostov on Dona  
Candidate of Technical Sciences, associate professor of  
the department «Technology of Mechanical Engineering»  
Rostov to Dona, Gagarin Sq.1, DGTU  
Tel.89521050045  
E–mail: vivanov\_dstu@mail.ru

#### **Kondratyev Mikhail Vyacheslavovich**

Voronezh State Technical University, Voronezh  
Senior teacher of the department «The automated  
equipment of machine–building production»  
394026 Voronezh, Moskovskiy.pr.14, VGTU.  
Tel.89529540520.  
E–mail: 540520@mail.ru

#### **Smolentsev Evgeny Vladislavovich**

Voronezh State Technical University, Voronezh  
Doctor of Technical Sciences, professor of the department  
«Technology of Mechanical Engineering»  
394026 Voronezh, Moskovskiy.pr.14, VGTU.  
Tel.89107464075.  
E–mail: smolentsev.rabota@gmail.com

А.В. ТОЛКАЧЕВ, А.А. КОРЯЖКИН

## МЕТОД УЛУЧШЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ УПРОЧНЁННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

*В статье описаны основные характеристики детали, меняющиеся после применения упрочнения поверхностным пластическим деформированием. Указана причина распространения дробеструйного упрочнения при производстве лопаток компрессора газотурбинного двигателя. Представлена причина необходимости обработки лопатки компрессора после дробеструйного упрочнения. Описана возможность использования вибрационного полирования для улучшения шероховатости лопаток компрессора газотурбинного двигателя после дробеструйного упрочнения. Представлены результаты виброполировальной обработки упрочненной лопатки компрессора из сплава на основе титана, полученные при различных условиях обработки. Результаты содержат данные о начальной и достигнутой шероховатости, съёме материала, остаточных напряжениях после вибрационного полирования. Представлены параметры вибрационного полирования, за счёт изменения которых производилось управление результатом обработки. Указано, что технологический метод вибрационного полирования является приемлемым для улучшения шероховатости лопаток компрессора газотурбинного двигателя после дробеструйного упрочнения.*

**Ключевые слова:** упрочнение, виброполировальная обработка, шероховатость поверхности, сжимающие напряжения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2294824 Российская Федерация, МПК: В 24 В 39 00, Наклепывающий инструмент с деформирующей пружиной /Афонасьев Б.И., Бурнашов М.А., Селеменев М.Ф., Степанов Ю.С.; заявитель и патентообладатель Орловский государственный технический университет. - № 2005131656/02; заявл. 12.10.2005; опубл. 10.03.2007. – Бюл. №7. - 7 с.
2. Пат. 2312752 Российская Федерация, МПК В24В 39/00, В23С 5/06. Иглофрезерно-упрочняющий инструмент / Киричек А.В., Тарапанов А.С., Харламов Г.А., Полянский С.В., Афанасьев Б.И., Степанов Ю.С., Фомин Д.С., Селеменев К.Ф.; заявитель и патентообладатель Орловский государственный технический университет. - № 2006111840/02; заявл. 10.04.2006; опубл. 20.12.2007. – Бюл. 35. – 7 с.
3. Эффективные технологии поверхностного пластического деформирования и комбинированной обработки. Коллективная монография /В.Н. Беляев, В.П. Иванов, А.Р. Ингеманссон, А.Н. Исаев, А.В. Киричек, Д.В. Крайнев, А.Р. Лебедев, С.В. Лесняк, А.В. Морозова, М.Н. Нагоркин, М.В. Песин, Ю.Н. Полянчиков, Д.Л. Соловьев, В.И. Сотников, Ю.С. Степанов, Д.Е. Тарасов, А.Н. Ткаченко, В.П. Федоров; Под ред. А.В. Киричека. – М.: Издательский дом «Спектр», 2014. – 403 с.
4. Механика нагружения поверхности волной деформации / А.Г. Лазуткин, А.В. Киричек, Ю.С. Степанов, Д.Л. Соловьев. – Москва: Изд-во «Машиностроение-1», 2005. – 149 с.
5. Пат. 2259910 Российская Федерация, МПК В 24 В 39/04, 39/00. Регулируемая головка для обкатывания / Киричек А.В., Самойлов Н.Н., Гаврилин А.М., Афанасьев Б.И., Катунин А.А., Степанов Ю.С., Фомин Д.С.; заявитель и патентообладатель Орловский государственный технический университет. - № 2004130254/02, заявл. 12.10.2004; опубл. 10.09.2005. – Бюл. 25. – 9 с.
6. Пат. 2120368 Российская Федерация, МПК Способ комбинированной квазипрерывистой чистовой обработки / Афонасьев Б.И., Бурнашов М.А., Селеменев М.Ф., Степанов Ю.С.; заявитель и патентообладатель Орловский государственный технический университет. - № 96116348/02; заявл. 07.08.1996; опубл. 20.10.1998.
7. Сергеев, А. П. Удаление заусенцев с плоских деталей в абразивных средах в переменном силовом поле / А.П. Сергеев, С.В. Тюрина, В.А. Ачкасов // СТИН, 2005. – №12. – С. 24 – 28.
8. Бабичев, А. П. О новом подходе к разработке математической модели формирования поверхности детали при выполнении операции вибрационной очистки / А.П. Бабичев, Н.Т. Мясников, Д. Эсола // Вестник ДГТУ: научно-технический и производственный журнал. – Ростов н/Д, 2012. – №3(64). – С. 136 –138.
9. Литовка, Г. В. Оценка режущей способности абразивных гранул / Г.В. Литовка // Справочник. Инженерный журнал, 2010. – №7. – С. 23 – 28.

10. Литовка, Г. В. Связь между шероховатостью поверхности обрабатываемых деталей и геометрией абразивных гранул при виброабразивной обработке / Г.В. Литовка // Справочник. Инженерный журнал, 2012. – №5. – С.8 – 14.

11. Тамаркин М. А. Исследование формирования параметров качества поверхности и эксплуатационных свойств деталей летательных аппаратов при обработке в гибких гранулированных средах / М.А. Тамаркин, Э.Э. Тищенко, А.А. Руденко, С.А. Раздорский // Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации, 2015 – Т. 1 – С. 50 – 54.

12. Баби́чев, А. П. Вибрационные технологии в машиностроении: опыт применения и перспективы развития / А.П. Баби́чев, П. Д. Мотренко // Упрочняющие технологии и покрытия, 2015 – № 8 (128) – С. 3-5.

13. Баби́чев, А. П. Основы вибрационной технологии / А.П. Баби́чев, И.А. Баби́чев. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008. – 694 с.

14. Баби́чев, А. П. Применение вибрационных технологий для повышения качества и эксплуатационных свойств деталей / А.П. Баби́чев, П.Д. Мотренко. – Ростов-н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2006. – 215 с.

15. Баби́чев, А.П. Вибрационная обработка деталей / А. П. Баби́чев. – М.: Машиностроение. – 1974. – 134 с.

16. Волков, Д. И. Упрочняющий эффект виброполировальной обработки / Д.И. Волков, А.В. Толкачев // Упрочняющие технологии и покрытия. –2015. – №7 (127). – С.10-12.

17. Бурштейн, И.Е. Объёмная вибрационная обработка. Рекомендации / И.Е. Бурштейн, В. В. Балицкий, А.Ф. Духовский, Т.П. Нейман, Л.А. Устинова. – М.: ЭНИМС, 1977. – 95 с.

**Толкачев Александр Викторович**

ПАО «НПО «Сатурн», г. Рыбинск

Кандидат технических наук, начальник бюро абразивной обработки и упрочнения опытно-технологической лаборатории

152903, г. Рыбинск, проспект Ленина, 163

Тел. 8-980-661-69-52

E-mail: aleksandr.tolkachev@npo-saturn.ru

**Коряжкин Андрей Александрович**

ПАО «НПО «Сатурн», г. Рыбинск

Доктор технических наук, заместитель главного технолога по механическим и механо-сборочным цехам

152903, г. Рыбинск, проспект Ленина, 163

Тел. 8-961-155-01-95

E-mail: andrey.koryazhkin@npo-saturn.ru

---

A.V. TOLKACHEV, A.A. KORYAZHKIN

## METHOD OF IMPROVING THE ROUGHNESS OF HARDENED SURFACES OF GAS TURBINE ENGINE COMPRESSOR BLADES

*The article describes the main characteristics of detail, changing after application of hardening of surface plastic deformation. It is given the reason of the spread of shot peening in the manufacture of compressor blades of gas turbine engine. It is represented the reason for the need to processing the compressor blade after shot peening. It is described the ability to use a vibrating polishing to improve roughness of gas turbine engine compressor blades after shot peening. It is presented the results of vibropolishing treatment of hardened compressor blade from the alloy based on titanium, obtained under various processing conditions. The results include data about start and reached roughness, removal of material, residual voltages after vibrating polishing. It is showed the parameters of vibrating polishing, due to changes of which, it is produced a management of result of processing. It is pointed out that the technological method of vibrating polishing is acceptable for the improvement of roughness of gas turbine engine compressor blades after shot peening.*

**Keywords:** hardening, vibropolishing treatment, surface roughness, compressive stresses.

### BIBLIOGRAPHY

1. Pat. 2294824 Rossijskaya Federaciya, MPK: B 24 B 39 00, Naklepyvayushhij instrument s deformiruyushhej pruzhinoj /Afonasev B.I., Burnashov M.A., Selemenev M.F., Stepanov Yu.S.; zayavitel i patentoob-ladatel Orlovskij gosudarstvennyj texniceskij universitet. - № 2005131656/02; zayavl. 12.10.2005; opubl. 10.03.2007. – Byul. №7. – 7 s.

2. Pat. 2312752 Rossijskaya Federaciya, MPK B24B 39/00, B23C 5/06. Iglofrezerno-uprochnyayushhij instrument / Kirichek A.V., Tarapanov A.S., Xarlamov G.A., Polyanskij S.V., Afanasev B.I., Stepanov Yu.S., Fomin D.S., Selemenev K.F.; zayavitel i patentoobladatel Orlovskij gosudarstvennyj texniceskij universitet. - № 2006111840/02; zayavl. 10.04.2006; opubl. 20.12.2007. – Byul. 35. – 7 s.

3. Effektivnye texnologii poverxnostnogo plasticheskogo deformirovaniya i kombinirovannoj obrabotki. Kollektivnaya monografiya / V.N. Belyaev, V.P. Ivanov, A.R. Ingemansson, A.N. Isaev, A.V. Kirichek, D.V. Krajnev, A.R. Lebedev, S.V. Lesnyak, A.V. Morozova, M.N. Nagorkin, M.V. Pesin, Yu.N. Polyanchikov, D.L. Solovev, V.I. Sotnikov, Yu.S. Stepanov, D.E. Tarasov, A.N. Tkachenko, V.P. Fedorov; Pod red. A.V. Kiricheka. – M.: Izdatelskij dom «Spektr», 2014. – 403 s.

4. Mexanika nagruzheniya poverxnosti volnoj deformacii / A.G. Lazutkin, A.V. Kirichek, Yu.S. Stepanov, D.L. Solovev. – Moskva: Izd-vo «Mashinostroenie-1», 2005. – 149 s.

5. Pat. 2259910 Rossijskaya Federaciya, MPK B 24 B 39/04, 39/00. Reguliruemaya golovka dlya obkatyvaniya / Kirichek A.V., Samojlov N.N., Gavrilin A.M., Afanasev B.I., Katunin A.A., Stepanov Yu.S., Fomin D.S.; zayavitel i patentoobladatel Orlovskij gosudarstvennyj texniceskij universitet. - № 2004130254/02, zayavl. 12.10.2004; opubl. 10.09.2005. – Byul. 25. – 9 s.

6. Pat. 2120368 Rossijskaya Federaciya, MPK Sposob kombinirovannoj kvazipreryvistoj chistovoj obrabotki / Afonasev B.I., Burnashov M.A., Selemenev M.F., Stepanov Yu.S.; zayavitel i patentoobladatel Orlovskij gosudarstvennyj texniceskij universitet. - № 96116348/02; zayavl. 07.08.1996; opubl. 20.10.1998.

7. Sergeev, A. P. Udalenie zausencev s ploskix detalej v abrazivnyx sredax v peremennom silovom pole / A.P. Sergeev, S.V. Tyurina, V.A. Achkasov // STIN, 2005. – №12. – S. 24 – 28.

8. Babichev, A. P. O novom podxode k razrabotke matematicheskoy modeli formirovaniya poverxnosti detali pri vypolnenii operacii vibracionnoj ochistki / A.P. Babichev, N.T. Myashnikov, D. Esola // Vestnik DGTU: na-uchno-texniceskij i proizvodstvennyj zhurnal. – Rostov n/D, 2012. – №3(64). – S. 136 –138.

9. Litovka, G. V. Ocenka rezhushhej sposobnosti abrazivnyx granul / G.V. Litovka // Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal, 2010. – №7. – S. 23 – 28.

10. Litovka, G. V. Svyaz mezhdu sheroxovatostyu poverxnosti obrabatyvaemyx detalej i geometriej abrazivnyx granul pri vibroabrazivnoj obrabotke / G.V. Litovka // Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal, 2012. – №5. – S.8 – 14.

11. Tamarkin M. A. Issledovanie formirovaniya parametrov kachestva poverxnosti i ekspluatacionnyx svojstv detalej letatelnyx apparatov pri obrabotke v gibkix granulirovannyx sredax / M.A. Tamarkin, E.E. Tishhenko, A.A. Rudenko, S.A. Razdorskij // Aerokosmicheskaya texnika, vysokie texnologii i innovacii, 2015 – T. 1 – S. 50 – 54.

12. Babichev, A. P. Vibracionnye texnologii v mashinostroenii: opyt primeneniya i perspektivy razvitiya / A.P. Babichev, P. D. Motrenko // Uprochnyayushhie texnologii i pokrytiya, 2015 – № 8 (128) – S. 3-5.

13. Babichev, A. P. Osnovy vibracionnoj texnologii / A.P. Babichev, I.A. Babichev. – Rostov n/D: Izdatelskij centr DGTU, 2008. – 694 s.

14. Babichev, A. P. Primenenie vibracionnyx texnologij dlya povysheniya kachestva i ekspluatacionnyx svojstv detalej / A.P. Babichev, P.D. Motrenko. – Rostov-n/D: Izdatelskij centr DGTU, 2006. – 215 s.

15. Babichev, A.P. Vibracionnaya obrabotka detalej / A. P. Babichev. – M.: Mashinostroenie. – 1974. – 134 s.

16. Volkov, D. I. Uprochnyayushhij effekt vibropolirovalnoj obrabotki / D.I. Volkov, A.V. Tolkachyov // Uprochnyayushhie texnologii i pokrytiya. –2015. – №7 (127). – S.10-12.

17. Burshtejn, I.E. Obyomnaya vibracionnaya obrabotka. Rekomendacii / I.E. Burshtejn, V. V. Balic-kij, A.F. Duxovskij, T.P. Nejman, L.A. Ustinova. – M.: ENIMS, 1977. – 95 s.

#### **Tolkachev Aleksandr Viktorovich**

PAO «NPO «Saturn», Rybinsk

Candidate of Engineering Sciences, the chief of the bureau of blasting and hardening of the experimental-technological laboratory

152903, Rybinsk, Lenin avenue, 163

Ph. 8–980–661–69–52

E–mail: aleksandr.tolkachev@npo-saturn.ru

#### **Koryazhkin Andrey Aleksandrovich**

PAO «NPO «Saturn», Rybinsk

PhD, deputy chief technologist at the mechanical and machine–Assembly shop

152903, Rybinsk, Lenin avenue, 163

Ph. 8–961–155–01–95

E–mail: andrey.koryazhkin@npo-saturn.ru

УДК 621. 99

А.С. ЯМНИКОВ, О.А. ЯМНИКОВА, А.И. ХАРЬКОВ

## **ЭМПИРИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ НАРЕЗАНИИ РЕЗЬБЫ РЕЗЦАМИ С КЕРАМИЧЕСКИМИ ПЛАСТИНКАМИ**

*Приведены результаты экспериментов по нарезанию резьбы резцами с керамическими пластинками на стальных заготовках высокой твердости (HRC 52...55). Показано влияние*

отрицательного переднего угла, величины заглубления резца и подачи на врезание на составляющие силы резания. Выведены эмпирические зависимости составляющих силы резания при нарезании резьбы резцами с керамическими пластинками и показаны с помощью системы компьютерной алгебры - Mathcad трехмерные графики эмпирических зависимостей с наложенными экспериментальными точками.

**Ключевые слова:** закаленная заготовка, резьба, керамическая пластина, трехмерные графики, Mathcad.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов, Н.П. Скоростное нарезание резьбы резцами методом последовательных проходов / Н.П. Антонов // Технология машиностроения: Сб. науч. трудов. Тула: ТулПИ. - 1971. - Вып. 23. - С. 17-28.
2. Бобров, В.Ф. Многопроходное нарезание крепежных резьб резцом / В.Ф. Бобров. - М.: Машиностроение, 1982. - 104 с.
3. Yamnikov, A.S. Extending Tool Life in Buttress-Thread Cutting on High-Strength Blanks / A.S. Yamnikov, A.O. Chuprikov, A.I. Kharkov. // ISSN 1068-798X, Russian Engineering Research. – 2015. - Vol. 35. - № 12. -pp. 953–956.
4. Ямников, А.С. Повышение ресурса инструмента при нарезании усиленной упорной резьбы на заготовках из высокопрочных материалов / А.С. Ямников, А.О. Чуприков, А.И. Харьков // СТИН. – 2015. - № 6. - С. 17-21.
5. Yamnikov, A.S. Chucks for Thin - Walled Blanks / A.S. Yamnikov, A.O. Chuprikov. // ISSN 1068-798X, Russian Engineering Research. - 2015. - Vol. 35. - № 11. – PP. 838-840.
6. Чуприков, А.О. Определение напряжений в резьборезущей пластине численным моделированием в среде Solidworks / А.О. Чуприков, А.С. Ямников // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2016. - № 8. - Ч. 1. - С. 180-186.
7. Ямников, А.С. Предельно допустимые подачи при многопроходном нарезании резьбы резцом / А.С. Ямников, А.О. Чуприков, А.И. Харьков // Вестник современных технологий: сб. науч. тр. Севастоп. гос. ун-т; (материалы международной конференции «Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении» (12 – 18 сентября 2016 года) Севастополь: СевГУ. - 2016. - Вып. 1. - С. 77-83.
8. Ямников, А.С. Причины неравномерного износа резьбовых резцов по упорной стороне профиля / А.С. Ямников, А.О. Чуприков, А.И. Харьков // Материалы XV ВНТК Механики XXI века. - БрГУ, Братск. - 2016. - № 15, С. 13-18.
9. ТаегуТес. Резьбонарезной инструмент: каталог [Электронный ресурс] / URL: <http://www.taegutec.com.ua/uploads/files/file/catalog-2015/C.pdf>. Дата обращения 26 декабря 2015г.
10. Патент РФ на полезную модель RU 106160U1, МПК В23В 29/00. Резец с поворотной державкой / Е.Ю. Кузнецов, А.С. Ямников, А.А. Маликов [и др.] / Опубликовано 10.07.2011. 4 с.
11. ГОСТ 25003-81 «Пластины режущие сменные многогранные керамические. Технические условия» (Пластины трехгранной формы с задним углом 7° типоразмеров 01211 TNUN и 01231 TNGN).
12. Патент на изобретение №: 2104826 МПК: В23В. Режущая пластина из спеченного изделия и способ ее изготовления / Сумитомо Электрик Индастриз, Лтд (JP). Дата публикации: 20 февраля 1998.
13. Патент РФ на полезную модель №: 110015 МПК: В23С. Режущая пластина из керамики / Кузин В.В., Федоров С.Ю., Федоров М.Ю. Дата публикации: 10 ноября 2011.
14. Пат на изобретение RU 2 595 158 С2 МПК, В23В 27/16 (2006.01), В23F 21/12 (2006.01) Режущая сменная многогранная пластина из керамики // Грязев В.М., Кузнецов Е.Ю., Чуприков А.О., Ямников А.С., Харьков А.И. Заявка: 2014108278/02, 04.03.2014. Опубликовано: 20.08.2016. - Бюл. № 23. - 7с.
15. Денисов, В.Г. Влияние геометрии резьбовых резцов с режущей керамикой на точность профиля резьбы и силы резания / В.Г. Денисов, Е.И. Федин, А.С. Ямников. Сб. науч. тр. «Исследования в области технологии механической обработки и сборки». Тула: ТПИ. - 1985. - С. 69-75.
16. Степанова, Е.Ю. Экспортные ограничения США и ЕС как стимул к развитию наукоемких и высокотехнологичных секторов экономики / Е.Ю. Степанова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. - № 3 (305). – С. 96-103.
17. Поландова, Л.И. Высокие технологии в инновационной экономике / Е.Ю. Степанова, Л.И. Поландова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2007. -№ 3. – С. 156-167.
18. Степанова, Е.Ю. Маркетинг инноваций: проблемы и решения /Е.Ю. Степанова, Ю.С. Степанов // Экономические и гуманитарные науки. – 2011. - № 12. – С. 24-31.
19. Ямников, А.С. Нарезание резьб на высокопрочных труднообрабатываемых заготовках резцами из твердых сплавов и керамики /А.С. Ямников, Э.С. Спиридонов / Доклады междунар. конф. по инструменту. ВНР, Мишкольц. - 1989. - Ч. 1. - С. 299-306.
20. Ямников, А.С. Повышение производительности точения резьбы резцами с керамическими пластинками /А.С. Ямников, А.О. Чуприков, А.И. Харьков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. - 2014. - Т. 14. - № 4. - С. 37-45.

21. Ямников, А.С. Исследование силовых параметров процесса нарезания резьбы резцами с керамическими пластинками / А.С. Ямников, О.А. Ямникова // Прогресивні технології і системи машинобудування. - Донецьк: Национальний технічний університет. - 2016. - № 1. - С. 151-157.

22. Ямников, А.С. Физико - технологические основы повышения прочности керамических СМП при нарезании резьб на закаленных заготовках / А.С. Ямников, А.И. Харьков, А.О. Чуприков // Перспективные направления развития финишных методов обработки деталей; виброволновые технологии: сборник трудов по материалам международного научного симпозиума технологов-машиностроителей (Ростов-на-Дону, 14-17 сентября 2016г.). - Ростов н/Д: ДГТУ. - 2016. - С. 109-111.

23. Ямников, А.С. Определение составляющих силы резания при точении в зависимости от механических свойств обрабатываемого материала / А.С. Ямников, А.О. Чуприков, А.И. Харьков // Научные технологии в машиностроении. - 2016. - №11 (65). - С. 31-36.

24. Харьков, А.И. Аналитическое определение составляющих силы резания при точении / А.И. Харьков, А.О. Чуприков, А.С. Ямников // Вестник ТулГУ. Автоматизация: проблемы, идеи, решения: сб. научных трудов МНТК «АПИР-19», 13-14 сентября 2014 года Тула: Изд-во ТулГУ. - 2014. - С. 107-112

25. Пирумов, У.Г. Численные методы: учеб. пособие для вузов У.Г. Пирумов. 4-е изд. стер. М.: Дрофа, 2007. - 222 с.

26. Таранчук, В.Б. Основные функции систем компьютерной алгебры / В.Б. Таранчук. Минск: БГУ, 2013. - 59 с.

27. Ямников, А.С. История развития технологической науки / А.С. Ямников, А.А. Маликов: учебное пособие / Изд. 2, испр. и доп. / Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. - 424 с.

28. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. - М.: Наука, 1973. - 832 с.

29. Ямникова, О.А. Имитационное моделирование компонентов технологических систем: учеб. пособие О.А. Ямникова, А.С. Ямников / Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. - 192 с.

**Ямников Александр Сергеевич**

Тулльский государственный университет

300012 г. Тула, пр. Ленина, 92

Доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения»

E-mail: yamnikovas@mail.ru

**Ямникова Ольга Александровна**

Тулльский государственный университет

300012 г. Тула, пр. Ленина, 92

Доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения»

E-mail: yamnikovaoa@mail.ru

**Харьков Александр Игоревич**

Тулльский государственный университет

300012 г. Тула, пр. Ленина, 92

аспирант кафедры «Технология машиностроения»

E-mail: alexandrhar@mail.ru

---

A.S. YAMNIKOV, O.A. YAMNIKOVA, A.I. KHARKOV

## EMPIRICAL DEPENDENCE COMPONENTS CUTTING FORCES IN THREADING TOOLS WITH CERAMIC PLATES

*Results of trial experiments on cutting of a carving by cutters with ceramic plates are given in steel preparations of high hardness (HRC 52 ... 55). Influence of a negative forward corner, size of deepening of a cutter and giving on incision on the making cutting forces is shown. We derive empirical relationships of cutting forces when tapping cutters with ceramic plates and displayed using Mathcad computer algebra system three-dimensional graphs of empirical relationships superimposed with the experimental points.*

**Keywords:** hardened blank, carving, ceramic plate, three-dimensional graphics, Mathcad.

### BIBLIOGRAPHY

1. Antonov, N.P. Skorostnoye narezaniye rezby reztsami metodom posledovatelnykh prokhodov / N.P. Antonov // Tekhnologiya mashinostroyeniya: Sb. nauch. trudov. Tula: TulPI. - 1971. - Vyp. 23. - S. 17-28.

2. Bobrov, V.F. Mnogoprokhodnoye narezaniye krepzhnykh rezb reztsom / V.F. Bobrov. M.: Mashinostroyeniye, 1982. -104 s.

3. Yamnikov, A.S. Extending Tool Life in Buttress-Thread Cutting on High-Strength Blanks / A.S. Yamnikov, A.O. Chuprikov, A.I. Kharkov. // ISSN 1068-798X, Russian Engineering Research. - 2015. - Vol. 35. - № 12. -pp. 953-956.

4. Yamnikov, A.S. Povysheniye resursa instrumenta pri narezanii usilennykh upornoy rezby na zagotvokakh iz vysokoprochnykh materialov / A.S. Yamnikov, A.O. Chuprikov, A.I. Kharkov // STIN. - 2015. - № 6. - S. 17-21.

5. Yamnikov, A.S. Chucks for Thin - Walled Blanks / A.S. Yamnikov, A.O. Chuprikov. // ISSN 1068-798X, Russian Engineering Research. - 2015. - Vol. 35. - № 11. - RR. 838-840.

6. Chuprikov, A.O. Opredeleniye napryazheniy v rezborezhushchey plastine chislennym modelirovaniyem v srede Solidworks / A.O. Chuprikov, A.S. Yamnikov // Izvestiya Tulskego gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. - 2016. - № 8. - CH. 1. - S. 180-186.



7. Yamnikov, A.S. Predelno dopustimyye podachi pri mnogoprokhodnom narezanii rezby reztsom / A.S. Yamnikov, A.O. Chuprikov, A.I. Kharkov // Vestnik sovremennykh tekhnologiy: sb. nauch. tr. Sevastop. gos. un-t; (materialy mezhdunarodnoy konferentsii «Sovremennyye napravleniya i perspektivy razvitiya tekhnologiy obrabotki i oborudovaniya v mashinostroyeni» (12 – 18 sentyabrya 2016 goda) Sevastopol: SevGU. - 2016. - Vyp. 1. - S. 77-83.
8. Yamnikov, A.S. Prichiny neravnomernogo iznosa rezbovykh reztsov po upornoy storone profilya / A.S. Yamnikov, A.O. Chuprikov, A.I. Kharkov // Materialy XV VNTK Mekhaniki XXI veku. - BrGU, Bratsk. - 2016. - № 15, S. 13-18.
9. TaeguTec. Rezbonareznoy instrument: katalog [Elektronnyy resurs] / URL: <http://www.taegutec.com.ua/uploads/files/file/catalog-2015/C.pdf>. Data obrashcheniya 26 dekabrya 2015g.
10. Patent RF na poleznuyu model RU 106160U1, MPK V23V 29/00. Rezets s povorotnoy derzhavkoy / Ye.YU. Kuznetsov, A.S. Yamnikov, A.A. Malikov [i dr.] / Opublikovan 10.07.2011. 4 s.
11. GOST 25003-81 «Plastiny rezhushchiye smennyye mnogogrannyye keramicheskiye. Tekhnicheskiye usloviya» (Plastiny trekhgrannoy formy s zadnim uglom 7° tiporazmerov 01211 TNUN i 01231 TNGN).
12. Patent na izobreteniyе №: 2104826 MPK: B23B. Rezhushchaya plastina iz spechennogo izdeliya i sposob yeye izgotovleniya / Sumitomo Elektrik Indastriz, Ltd (JP). Data publikatsii: 20 fevralya 1998.
13. Patent RF na poleznuyu model №: 110015 MPK: B23C. Rezhushchaya plastina iz keramiki / Kuzin V.V., Fedorov S.YU., Fedorov M.YU. Data publikatsii: 10 noyabrya 2011.
14. Pat na izobreteniyе RU 2 595 158 C2 MPK, B23B 27/16 (2006.01), B23F 21/12 (2006.01) Rezhushchaya smennaya mnogogrannaya plastina iz keramiki // Gryazev V.M., Kuznetsov Ye.YU., Chuprikov A.O., Yamnikov A.S., Kharkov A.I. Zayavka: 2014108278/02, 04.03.2014. Opublikovano: 20.08.2016. - Byul. № 23. - 7s.
15. Denisov, V.G. Vliyaniye geometrii rezbovykh reztsov s rezhushchey keramikoy na tochnost profilya rezby i sily rezaniya / V.G. Denisov, Ye.I. Fedin, A.S. Yamnikov. Sb. nauch. tr. «Issledovaniya v oblasti tekhnologii mekhanicheskoy obrabotki i sborki». Tula: TPI. - 1985. - S. 69-75.
16. Stepanova, Ye.YU. Eksportnyye ogranicheniya SSHA i YES kak stimul k razvitiyu naukoymkikh i vysokotekhnologichnykh sektorov ekonomiki / Ye.YU. Stepanova // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2014. - № 3 (305). – S. 96-103.
17. Polandova, L.I. Vysokiyе tekhnologii v innovatsionnoy ekonomike / Ye.YU. Stepanova, L.I. Polandova // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2007. -№ 3. – S. 156-167.
18. Stepanova, Ye.YU. Marketing innovatsiy: problemy i resheniya /Ye.YU. Stepanova, YU.S. Stepanov // Ekonomicheskkiye i gumanitarnyye nauki. – 2011. - № 12. – S. 24-31.
19. Yamnikov, A.S. Narezaniye rezb na vysokoprochnnykh trudnoobrabatyvayemykh zagotovkakh reztsami iz tverdykh splavov i keramiki /A.S. Yamnikov, E.S. Spiridonov / Doklady mezhdunar. konf. po instrumentu. VNR, Mishkolts. - 1989. - CH. 1. - S. 299-306.
20. Yamnikov, A.S. Povysheniye proizvoditelnosti tocheniya rezby reztsami s keramicheskimi plastinkami /A.S. Yamnikov, A.O. Chuprikov, A.I. Kharkov // Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Mashinostroyeniye. - 2014. - T. 14. - № 4. - S. 37-45.
21. Yamnikov, A.S. Issledovaniye silovykh parametrov protsessa narezaniya rezby reztsami s keramicheskimi plastinkami /A.S. Yamnikov, O.A. Yamnikova // Progresivniy tekhnologii i sistemi mashinobudovaniya. - Donetsk: Natsionalnyy tekhnicheskyy universitet. – 2016. - № 1. - S. 151-157.
22. Yamnikov, A.S. Fiziko - tekhnologicheskkiye osnovy povysheniya prochnosti keramicheskikh SMP pri narezanii rezb na zakalennykh zagotovkakh / A.S. Yamnikov, A.I. Kharkov, A.O. Chuprikov // Perspektivnyye napravleniya razvitiya finishnykh metodov obrabotki detaley; vibrovolnovyye tekhnologii: sbornik trudov po materialam mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma tekhnologov-mashinostroyiteley (Rostov-na-Donu, 14-17 sentyabrya 2016g.). – Rostov n/D: DGTU. - 2016. - S. 109-111.
23. Yamnikov, A.S. Opredeleniye sostavlyayushchikh sily rezaniya pri tochenii v zavisimosti ot mekhanicheskikh svoystv obrabatyvayemogo materiala / A.S. Yamnikov, A.O. Chuprikov, A.I. Kharkov // Naukoymkiye tekhnologii v mashinostroyeni. - 2016. - №11 (65). - S. 31-36.
24. Kharkov, A.I. Analiticheskoye opredeleniye sostavlyayushchikh sily rezaniya pri tochenii / A.I. Kharkov, A.O. Chuprikov, A.S. Yamnikov // Vestnik TulGU. Avtomatizatsiya: problemy, idei, resheniya: sb. nauchnykh trudov MNTK «APIR-19», 13-14 sentyabrya 2014 goda Tula: Izd-vo TulGU. - 2014. - S. 107-112
25. Pirumov, U.G. Chislennyye metody: ucheb. posobiye dlya vuzov U.G. Pirumov. 4-ye izd. ster. M.: Drofa, 2007. – 222 s.
26. Taranchuk, V.B. Osnovnyye funktsii sistem kompyuternoy algebry / V.B. Taranchuk. Minsk: BGU, 2013. - 59 s.
27. Yamnikov, A.S. Istoriya razvitiya tekhnologicheskoy nauki / A.S. Yamnikov, A.A. Malikov: uchebnoye posobiye / Izd. 2, ispr. i dop. /Tula: Izd-vo TulGU, 2013. - 424 s.
28. Korn, G. Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov / G. Korn, T. Korn. - M.: Nauka, 1973. - 832 s.
29. Yamnikova, O.A. Imitatsionnoye modelirovaniye komponentov tekhnologicheskikh sistem: ucheb. posobiye O.A. Yamnikova, A.S. Yamnikov / Tula: Izd-vo TulGU, 2013. - 192 s.

**Yamnikov Alexander Sergeyevich**  
Tula state university  
Doctor of Engineering, professor of  
Technology of Mechanical  
Engineering department  
300012, Tula, Lenin Ave., 92

**Yamnikova Olga Aleksandrovna**  
Tula state university  
Doctor of Engineering, professor of  
Technology of Mechanical  
Engineering department  
300012, Tula, Lenin Ave., 92

**Kharkov Alexander Igorevich**  
Tula State university  
300012 Tula, Lenina ave., 92  
graduate student of chair  
«Technology engineering»  
E-mail: alexandrhar@mail.ru

# **ПРИБОРОСТРОЕНИЕ** **И БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

УДК 621.891

В.И. ВОРОБЬЁВ, В.П. ТИХОМИРОВ, М.А. ИЗМЕРОВ, Н.Н. СТРЕКАЛОВ

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ НОРМАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА РАБОТЫ СИЛОВОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРИБОРА**

*Показана связь состояния контакта корпуса силового полупроводникового прибора с испарителем радиатора охлаждения с его нормальным тепловым режимом работы, а также описаны процедуры моделирования контакта волнистых шероховатых поверхностей с определением основных геометрических и силовых параметров контактного взаимодействия, обеспечивающих необходимое термическое сопротивление для поддержания нормального теплового режима работы силового полупроводникового прибора.*

**Ключевые слова:** термическое сопротивление, контактная механика, волнистость, фрактальные поверхности, зазор.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ежов, А.Д. Определение контактного термического сопротивления пары: композиционный материал С–Si–С и титановый сплав / А.Д. Ежов // Журнал «Труды МАИ» – 2015. – № 82. – С. 1 – 15.
2. Грищенко, А.В. Повышение эффективности охлаждения силовых полупроводниковых приборов / А.В. Грищенко, И.Г. Киселёв, А.С. Корнев, Д.В. Крылов // Журнал «Электротехника» – 2016. – № 5. – С. 32–36.
3. Измеров, М.А. Двухуровневая модель инженерной поверхности // Достижения молодых ученых в развитии инновационных процессов в экономике, науке, образовании: Материалы V Международной научно-практической конференции под ред. О.М. Голембиовской – Брянск: БГТУ. – 2013. – С. 121 – 123.
4. Тихомиров, В.П. Контактное взаимодействие фрактальных поверхностей / В.П. Тихомиров // Трение и износ. – 1997. – Т. 18. – № 3. – С.369–374.
5. Chang, W, An elastic–plastic model for the contact of rough surfaces/ W. Chang, I. Etsion, D. Bogy// Journal of Tribology. – 1987. – V. 109. – P. 257–263.
6. Потапов, А.А. Теория рассеяния волн фрактальной анизотропной поверхностью / А.А. Потапов, А.В. Лактюнькин// Нелинейный мир. – 2001.–Т. 6. – № 6. – С. 3–36.
7. Тихомиров, В.П. Адекватность модели и реальной поверхности / В.П. Тихомиров, М.А. Измеров // «Вестник» Брянского государственного технического университета» – Брянск, 2012. – № 3. – С. 64–71.
8. Pavelescu, D. On the roughness fractal character, the tribological parameters and the error factors/D/. Pavelescu, A. Tudor // Proceedings of the Romanian Academy. Ser. A. – 2004. –Vol. 5. – № 2.
9. Jackson, R.L. A Finite element study of elastic–plastic hemispherical contact against a rigid flat/ R. L. Jackson, I. Green // Journal of Tribology. – 2005.–V. 127. – P.343–354.

**Воробьёв Владимир Иванович**  
ФГБОУ ВПО «Брянский государственный  
технический университет»  
Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Локомотивы»  
E-mail: vladimvorobiev@yandex.ru

**Тихомиров Виктор Петрович**  
ФГБОУ ВПО «Брянский государственный  
технический университет»  
Доктор технических наук, зав. кафедры «Детали  
машин»  
E-mail: dm-bgtu@yandex.ru

**Измеров Михаил Александрович**  
ФГБОУ ВПО «Брянский государственный  
технический университет»  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Детали  
машин»  
E-mail: Maik51@yandex.ru

**Стрекалов Николай Николаевич**  
ФГБОУ ВПО «Московский государственный  
университет путей сообщения»  
Старший преподаватель кафедры «Тяговый  
подвижной состав»

V.I. VOROBIEV, V.P. TIHOMIROV, M.A. IZMEROV, N.N. STREKALOV

## **SUPPORT OF THE NORMAL THERMAL MODE OF THE POWER SEMICONDUCTOR DEVICE**

*Shows the connection state of the contact housing of the power semiconductor device with the*

*evaporator of the heat sink with normal thermal mode of operation and describes procedures for modeling the contact of wavy rough surfaces with determination of the main geometrical and power parameters of contact interaction, providing the necessary thermal resistance to maintain normal thermal mode of the power semiconductor device.*

**Keywords:** thermal resistance, contact mechanics, sinuosity, fractal surfaces, the gap.

## BIBLIOGRAPHY

1. Yezhov, A.D. Opredeleniye kontaktnogo termicheskogo soprotivleniya pary: kompozitsionnyy material S–Si–C i titanovyy splav / A.D. Yezhov // Zhurnal «Trudy MAI» – 2015. – № 82. – S. 1 – 15.
2. Grishchenko, A.V. Povysheniye effektivnosti okhlazhdeniya silovyykh poluprovodnikovyykh priborov / A.V. Grishchenko, I.G. Kiselov, A.S. Kornev, D.V. Krylov // Zhurnal «Elektrotehnika» – 2016. – № 5. – S. 32–36.
3. Izmerov, M.A. Dvukhurovnevaya model inzhenernoy poverkhnosti // Dostizheniya molodykh uchenyykh v razvitiy innovatsionnykh protsessov v ekonomike, nauke, obrazovanii: Materialy V Mezhdunarodnoy nauchno–prakticheskoy konferentsii pod red. O.M. Golembiovskoy – Bryansk: BGTU. – 2013. – S. 121 – 123.
4. Tikhomirov, V.P. Kontaktnoye vzaimodeystviye fraktalnykh poverkhnostey / V.P. Tikhomirov // Treniye i iznos. – 1997. – T. 18. – № 3. – S.369–374.
5. Chang, W, An elastic–plastic model for the contact of rough surfaces/ W. Chang, I. Etsion, D. Bogy// Journal of Tribology. – 1987. –V. 109. – P. 257–263.
6. Potapov, A.A. Teoriya rasseyaniya voln fraktalnoy anizotropnoy poverkhnostyu / A.A. Potapov, A.V. Laktyunkin // Nelineynyy mir. – 2001.–T. 6. – № 6. – S. 3–36.
7. Tikhomirov, V.P. Adekvatnost modeli i realnoy poverkhnosti / V.P. Tikhomirov, M.A. Izmerov // «Vestnik» Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta» – Bryansk, 2012. – № 3. – S. 64–71.
8. Pavelescu, D. On the roughness fractal character, the tribological parameters and the error factors/D/. Pavelescu, A. Tudor // Proceedings of the Romanian Academy. Ser. A. – 2004. –Vol. 5. – № 2.
9. Jackson, R.L. A Finite element study of elastic–plastic hemispherical contact against a rigid flat/ R. L. Jackson, I. Green // Journal of Tribology. – 2005.–V. 127. – P.343–354.

### **Vorobiov Vladimir Ivanovich**

FSEI HPE «Bryansk state technical University»  
Candidate of technical Sciences, associate Professor of the  
Department «Locomotives»  
E–mail: vladimvorobiev@yandex.ru

### **Tihomirov Victor Petrovich**

FSEI HPE «Bryansk state technical University»  
Doctor of technical Sciences, Professor, head. the  
Department «machine Parts»  
E–mail: dm–bgtu@yandex.ru

### **Izmerov Mihail Aleksandrovich**

FSEI HPE «Bryansk state technical University»  
Candidate of technical Sciences, associate Professor of the  
Department «machine Parts»  
E–mail: Maik51@yandex.ru

### **Strekalov Nikolaj Nikolaevich**

FSEI HPE Moscow State Transport University  
Senior lecturer of Department «Traction rolling stock»

УДК 53.087:581.451(58.02)

М.В. СУХАНОВА, Л.А. БОНДАРЕВА

## О СОСТОЯНИИ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ РАСТЕНИЙ

*В статье выделены и проанализированы существующие на сегодняшний день методы и приборы оценки состояния растительного организма. Выявлено отсутствие общепринятой методики проведения функциональной диагностики растений, а так же системы достоверных диагностических показателей. Обоснована необходимость разработки прибора для оценки функционального состояния растений. Предложены к рассмотрению критерии, на основании которых можно проводить диагностику состояния растения.*

**Ключевые слова:** умное земледелие, растения, функциональная диагностика, функциональное состояние, оптические методы, сельское хозяйство.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. International Efficient Agriculture Solutions and Standards Association (официальный сайт). – Режим доступа: <http://ieassa.org/en>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 20.02.2017).
2. Бондарева, Л.А. Функциональная диагностика растений с использованием отраженной от листьев мощности излучения // Л.А. Бондарева, В.В. Уткина. – Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – № 2 (304). – 2014. – С. 144–151.
3. Бондарева, Л.А. Оценка возможности применения методов функциональной диагностики растений для решения проблем экологического мониторинга // Л.А. Бондарева, М.В. Суханова. – Биотехносфера. – № 6 (42). – 2015. – С. 11–15.
4. Тимирязев, К.А. Избранные сочинения/ К.А. Тимирязев. – М.: ОГИЗ–Сельхозгиз, 1949. – Т. 1. – 695 с.

5. Функциональная диагностика, как инструмент оптимизации минерального питания растений [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.bhz.kosnet.ru/Rus/Stat/St\\_aquadonis\\_opis.html](http://www.bhz.kosnet.ru/Rus/Stat/St_aquadonis_opis.html). – Загл. с экрана. (Дата обращения: 20.02.2017).
6. Фотометрический анализ субстратов и растворов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.promtehlab.ru/catalog/1473/>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 20.02.2017)
7. Портативне діагностичне обладнання «Агровектор®» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://agrovector.com.ua/wp-content/uploads/Сергій%20Шевченко/ЗАГАЛЬНА-ПРЕЗЕНТАЦІЯ-ОБЛАДНАННЯ.pptx>. (Дата обращения: 20.02.2017).
8. Патент РФ № 2342825 МПК А01G 7/00. Неразрушающий способ функциональной диагностики растений / Будаговский А.В., Будаговская О.Н., Будагоский И.А. – Заявка № 2007104756/12 от 07.02.2007. – Оpubл. 10.01.2009, Бюл. № 1.
9. WALZ. Mess- und Regeltechnik (официальный сайт). Режим доступа: <http://heinzwalz.ru>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 20.02.2017).
10. OPTI-SCIENCES. The Standard in Plant Stress Measurement Systems (официальный сайт). Режим доступа: <http://www.optisci.com/index.html>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 20.02.2017).
11. Chlorophyll Fluorescence (официальный сайт). Режим доступа: <http://www.hansatech-instruments.com>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 20.02.2017).
12. Портативний прилад для експрес-діагностики стану рослин «Флоратест» (официальный сайт). Режим доступа: [http://www.icyb.kiev.ua/s/381/ua/portatiwniy\\_prilad\\_dlya\\_ekspres-d?agnostiki\\_stanu\\_rosl.html](http://www.icyb.kiev.ua/s/381/ua/portatiwniy_prilad_dlya_ekspres-d?agnostiki_stanu_rosl.html). – Загл. с экрана. (Дата обращения: 20.02.2017).
13. ADC BioScientific Ltd (официальный сайт). Режим доступа: <http://www.adc.co.uk>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 20.02.2017).
14. Кувалдин, Э.В. Дистанционный и контактный приборы для диагностики состояния растений // Э.В. Кувалдин. – Оптический журнал. – № 80 (11). – 2013. – С. 68–77.
15. Agricon (официальный сайт). – Режим доступа: <http://www.n-sensor.de>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 20.02.2017).
16. Экспресс-диагностика состояния растений [Электронный ресурс] // Сельскохозяйственные Вести. – №3. – 2007. – Режим доступа: <http://agri-news.ru/zhurnal/2007/№3/2007/rasteniievodstvo/ekspres-diagnostika-sostoyaniya-rastenij.html>. (Дата обращения: 20.02.2017).
17. Бондарева, Л.А. Исследование шероховатой поверхности листьев растений // Л.А. Бондарева, М.В. Суханова. – Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – № 1 (303). – 2014. – С. 144-151.

**Суханова Марина Владимировна**  
 ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени Тургенева», г. Орел  
 Аспирант кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»  
 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
 Телефон: +7-911-385-78-18.  
 E-mail: [Suhanova.M.V@yandex.ru](mailto:Suhanova.M.V@yandex.ru)

**Бондарева Людмила Александровна**  
 ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени Тургенева», г. Орел  
 Кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»  
 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
 Телефон: +7 (4862) 41-98-76.  
 E-mail: [270174@mail.ru](mailto:270174@mail.ru)

M.V. SUKHANOVA, L.A. BONDAREVA

## STATUS OF RESEARCH IN THE FIELD FUNCTIONAL DIAGNOSTICS OF PLANT

*Currently existing methods and devices to assess the state of the plant organism are highlighted and analysed in the article. It is revealed the absence of commonly accepted technique of carrying out functional diagnostics of plants, and also absence reliable diagnostic system indicators. Substantiated the necessity of the development of the device for the assessment of the functional state of plants. Are offered for consideration criteria on the basis which it is possible to diagnose condition of the plant.*

**Keywords:** *smart agriculture, plants, functional diagnostics, functional state, optical methods, agriculture.*

### BIBLIOGRAPHY

1. International Efficient Agriculture Solutions and Standards Association (oficialnyj sajt). – Rezhim dostupa: <http://ieassa.org/en>. – Zagl. s ekrana. (Data obrashcheniya: 20.02.2017)
2. Bondareva, L.A. Funkcionalnaya diagnostika rastenij s ispolzovaniem otrazhennoj ot listev moshchnosti izlucheniya // L.A. Bondareva, V.V. Utkina. – Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – № 2 (304). – 2014. – S. 144-151.
3. Bondareva, L.A. Ocenka vozmozhnosti primeneniya metodov funkcionalnoj diagnostiki rastenij dlya resheniya problem ehkologicheskogo monitoringa // L.A. Bondareva, M.V. Suhanova. – Biotekhnosfera. – № 6 (42). – 2015. – S. 11-15.
4. Timiryazev, K.A. Izbrannye sochineniya/ K.A. Timiryazev. – M.: OGIZ-Selhozgiz, 1949. – T. 1. – 695 s.
5. Funkcionalnaya diagnostika, kak instrument optimizacii mineralnogo pitaniya rastenij [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: [http://www.bhz.kosnet.ru/Rus/Stat/St\\_aquadonis\\_opis.html](http://www.bhz.kosnet.ru/Rus/Stat/St_aquadonis_opis.html). – Zagl. s ekrana. (Data obrashcheniya: 20.02.2017).

6. Fotometricheskij analiz substratov i rastvorov [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.promtehlab.ru/catalog/1473/>. – Zagl. s ekrana. (Data obrashcheniya: 20.02.2017).
7. Portativne diagnostichne obladnannya «Agrovektor®» [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://agrovector.com.ua/wp-content/uploads/Sergii%20Shevchenko/ZAGALNA-PREZENTACIYA-OBLADNANNYA.pptx>. (Data obrashcheniya: 20.02.2017).
8. Patent RF № 2342825 MPK A01G 7/00. Nerazrushayushchij sposob funkcionalnoj diagnostiki rastenij / Budagovskij A.V., Budagovskaya O.N., Budagoskij I.A. – Zayavka № 2007104756/12 ot 07.02.2007. – Opubl. 10.01.2009, Byul. № 1.
9. WALZ. Mess- und Regeltechnik (oficialnyj sayt). Rezhim dostupa: <http://heinzwalz.ru>. – Zagl. s ekrana. (Data obrashcheniya: 20.02.2017)
10. OPTI-SCIENCES. The Standard in Plant Stress Measurement Systems (oficialnyj sayt). Rezhim dostupa: <http://www.optisci.com/index.html>. – Zagl. s ehkrana. (Data obrashcheniya: 20.02.2017).
11. Chlorophyll Fluorescence (oficialnyj sayt). Rezhim dostupa: <http://www.hansatech-instruments.com>. – Zagl. s ekrana. (Data obrashcheniya: 20.02.2017).
12. Portativnij prilad dlya ekspres-diagnostiki stanu roslin «Floratest» (oficialnyj sayt). Rezhim dostupa: [http://www.icyb.kiev.ua/s/381/ua/portatiwniy\\_prilad\\_dlya\\_ekspres-d?agnostiki\\_stanu\\_rosl.html](http://www.icyb.kiev.ua/s/381/ua/portatiwniy_prilad_dlya_ekspres-d?agnostiki_stanu_rosl.html). – Zagl. s ekrana. (Data obrashcheniya: 20.02.2017).
13. ADC BioScientific Ltd (oficialnyj sayt). Rezhim dostupa: <http://www.adc.co.uk>. – Zagl. s ekrana. (Data obrashcheniya: 20.02.2017).
14. Kuvaldin, E.V. Distancionnyj i kontaktnyj pribory dlya diagnostiki sostoyaniya rastenij // E.V. Kuvaldin. – Opticheskij zhurnal. – № 80 (11). – 2013. – S. 68–77.
15. Agricon (oficialnyj sayt). – Rezhim dostupa: <http://www.n-sensor.de>. – Zagl. s ekrana. (Data obrashcheniya: 20.02.2017).
16. Ekspres-diagnostika sostoyaniya rastenij [Elektronnyj resurs] // Selskohozyajstvennye Vesti. – №3. – 2007. – Rezhim dostupa: <http://agri-news.ru/zhurnal/2007/№3/2007/rastenievodstvo/ekspres-diagnostika-sostoyaniya-rastenij.html>. (Data obrashcheniya: 20.02.2017).
17. Bondareva, L.A. Issledovanie sherohovatoj poverhnosti listev rastenij // L.A. Bondareva, M.V. Suhanova. – Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – № 1 (303). – 2014. – S. 144-151.

**Sukhanova Marina Vladimirovna**  
 Oryol State University named after I.S. Turgenev, Oryol  
 Postgraduate of Department «Instrumentation, metrology  
 and certification»,  
 302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
 Phone: +7-911-385-78-18.  
 E-mail: Suhanova.M.V@yandex.ru

**Bondareva Lyudmila Alexandrovna**  
 Oryol State University named after I.S. Turgenev, Oryol  
 PhD. (Tech. Sciences), Associate Professor of the  
 Department «Instrumentation, metrology and  
 certification»,  
 302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
 Phone: +7 (4862) 41-98-76.  
 E-mail: 270174@mail.ru

## **КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА, ИСПЫТАНИЯ**

УДК 006.057

О.В. АРАЛОВ, А.С. САВАНИН

### **МЕТОДОЛОГИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ И МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫХ СТАНДАРТОВ В ОБЛАСТИ ИЗМЕРЕНИЙ КОЛИЧЕСТВА НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ**

*Статья посвящена методологии анализа и совершенствования национальных и межгосударственных стандартов в области измерений количества нефти и нефтепродуктов и контроля качества нефти и нефтепродуктов. В статье приводится практическая реализация разработанной методологии, классификация документов, классификация критериев по анализу. В заключении статьи приводятся предложения по совершенствованию рассмотренных стандартов.*

**Ключевые слова:** стандартизация, стандарт, метрология, измерение, нефть, нефтепродукт.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Тимофеев, Ф.В. Стратегия развития науки, техники и технологий трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов на период до 2020 года / Ф.В. Тимофеев, В.И. Федота // Тезисы докладов Международной научно-технической конференции «50 лет химмотологии – основные итоги и направления развития». – М.: Издательство «Перо». – 2014 – С. 62-70.

2. Вишневская, Ю.А. Разработка нормативных документов ОАО «АК «Транснефть», определяющих порядок оснащения испытательных лабораторий контроля качества нефти и нормы времени на проведение анализов показателей качества нефти / Ю.А. Вишневская, С.В. Габова, Ф.В. Тимофеев // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2014 – № 3 – С. 86-89.

3. Аралов, О.В. Анализ системы стандартизации в области измерений количества нефти и нефтепродуктов / О.В. Аралов, И.Н. Кацал, А.С. Саванин // Нефть, газ и бизнес. – 2017 – № 2 – С. 34-39.

4. РМГ 51-2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Документы на методики поверки средств измерений. Основные положения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.

5. ГОСТ Р 8.563-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений. – М.: Стандартинформ, 2010.

6. ГОСТ 1.5-2001. Межгосударственный стандарт. Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению. – М.: Стандартинформ, 2010.

7. ГОСТ 8.061-80. Государственная система обеспечения единства измерений. Поверочные схемы. Содержание и построение. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.

8. ГОСТ Р 8.908-2015. Государственная система обеспечения единства измерений. Средства измерений объемного расхода нефти и нефтепродуктов. Испытания, поверка и калибровка с применением трубопоршневых установок. – М.: Стандартинформ, 2016.

9. ГОСТ Р 8.595-2004. Государственная система обеспечения единства измерений. Масса нефти и нефтепродуктов. общие требования к методикам выполнения измерений. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2005.

10. Аралов, О.В. Сокращение пределов допускаемой относительной погрешности косвенного метода динамических измерений массы нефти и нефтепродуктов / О.В. Аралов, Ю.В. Лисин, А.С. Саванин // Законодательная и прикладная метрология. – 2016 – № 2 – С. 17-20.

**Аралов Олег Васильевич**  
ООО «НИИ Транснефть»,  
Кандидат технических наук, директор центра,  
Севастопольский проспект, д. 47А, Москва, 117186,  
Тел.: (495) 950-82-95 (22-80),  
E-mail: AralovOV@niitnn.transneft.ru

**Саванин Антон Сергеевич**  
ООО «НИИ Транснефть»,  
Кандидат технических наук, заведующий сектором,  
Севастопольский проспект, д. 47А, Москва, 117186,  
Тел.: (495) 950-82-95 (22-92),  
E-mail: SavaninAS@niitnn.transneft.ru

---

O.V. ARALOV, A.S. SAVANIN

## **METHODOLOGY TO IMPROVE THE NATIONAL AND INTERSTATE STANDARDS IN THE FIELD OF MEASURING THE QUANTITY OIL AND OIL PRODUCTS AND QUALITY CONTROL OIL AND OIL PRODUCTS**

*The article is devoted to methodology analysis and improvement of national and interstate standards in the field of measuring the quantity of oil and oil products and quality control of oil and oil products. In article describe the practical implementation of the developed methodology, classification documents, classification criteria for analysis. In conclusion, the article provides suggestions on how to improve the reviewed standards.*

**Keywords:** standardization, standard, metrology, measurement, oil, oil products.

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Timofeyev, F.V. Strategiya razvitiya nauki, tekhniki i tekhnologiy truboprovodnogo transporta nefi i nefteproduktov na period do 2020 goda / F.V. Timofeyev, V.I. Fedota // Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «50 let khimotologii – osnovnyye itogi i napravleniya razvitiya». – М.: Izdatelstvo «Pero». – 2014 – S. 62-70.

2. Vishnevskaya, YU.A. Razrabotka normativnykh dokumentov ОАО «АК «Транснефть», opredelyayushchikh poryadok osnashcheniya ispytatelnykh laboratoriy kontrolya kachestva nefi i normy vremeni na provedeniye analizov pokazateley kachestva nefi / YU.A. Vishnevskaya, S.V. Gabova, F.V. Timofeyev // Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefi i nefteproduktov. 2014 – № 3 – S. 86-89.

3. Aralov, O.V. Analiz sistemy standartizatsii v oblasti izmereniy kolichestva nefi i nefteproduktov / O.V. Aralov, I.N. Katsal, A.S. Savanin // Neft, gaz i biznes. – 2017 – № 2 – S. 34-39.

4. РМГ 51-2002. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya yedinstva izmereniy. Dokumenty na metodiki poverki sredstv izmereniy. Osnovnyye polozheniya. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.

5. ГОСТ R 8.563-2009. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya yedinstva izmereniy. Metodiki (metody) izmereniy. – М.: Standartinform, 2010.

6. GOST 1.5-2001. Mezhhgosudarstvennyy standart. Mezhhgosudarstvennaya sistema standartizatsii. Standarty mezhhgosudarstvennyye, pravila i rekomendatsii po mezhhgosudarstvennoy standartizatsii. Obshchiye trebovaniya k postroyeniyu, izlozheniyu, oformleniyu, soderzhaniyu i oboznacheniyu. – М.: Standartinform, 2010.

7. GOST 8.061-80. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya yedinstva izmereniy. Poverochnyye skhemy. Soderzhaniye i postroyeniye. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.

8. GOST R 8.908-2015. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya yedinstva izmereniy. Sredstva izmereniy ob"yemnogo raskhoda nefi i nefteproduktov. Ispytaniya, poverka i kalibrovka s primeneniym truboporshnevnykh ustanovok. – М.: Standartinform, 2016.

9. GOST R 8.595-2004. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya yedinstva izmereniy. Massa nefi i nefteproduktov. obshchiye trebovaniya k metodikam vypolneniya izmereniy. – M.: IPK Izdatelstvo standartov, 2005.

10. Aralov, O.V. Sokrashcheniye predelov dopuskayemoy odnositelnoy pogreshnosti kosvennogo metoda dinamicheskikh izmereniy massy nefi i nefteproduktov / O.V. Aralov, YU.V. Lisin, A.S. Savanin // Zakonodatel'naya i prikladnaya metrologiya. – 2016 – № 2 – S. 17-20.

**Aralov Oleg Vasilyevich**  
R&D Transneft LLC,  
candidate of technical sciences, director of the center,  
Sevastopolsky avenue, b. 47A, Moscow, 117186,  
Ph.: (495) 950-82-95 (22-80),  
E-mail: AralovOV@niitnn.transneft.ru,

**Savanin Anton Sergeevich**  
R&D Transneft LLC,  
candidate of technical sciences, chief of sector,  
Sevastopolsky avenue, b. 47A, Moscow, 117186,  
Ph.: (495) 950-82-95 (22-92),  
E-mail: SavaninAS@niitnn.transneft.ru,

УДК 658.018

К.В. ПОДМАСТЕРЬЕВ, В.В. МАРКОВ, А.В. СМЕТАННИКОВ, А.Н. ЛУКЪЯНЧИКОВ

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА АВТОМАТНОГО ТОЧЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ КОНТАКТНЫХ ПАР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ

*Рассмотрен способ практического применения статистических методов для управления качеством контактных пар электрических соединителей. Описан порядок сбора статистической информации о технологическом процессе автоматного точения деталей контактных пар. Показаны результаты обработки статистической информации. Сделаны рекомендации по улучшению качества контактных пар соединителей. Составлена методика управления качеством контактных пар по результатам статистического анализа технологических процессов их изготовления.*

**Ключевые слова:** качество; электрический соединитель; контактная пара; технологический процесс; управление качеством, статистические методы, методика.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие /В.Е. Гмурман. – Изд. 7–е, стер. – М.: Высшая школа, 1999. – 479 с.
2. Шишкин, И.Ф. Теоретическая метрология. Ч. 1. Общая теория измерений: Учебник для вузов / И.Ф. Шишкин. – СПб.: Питер, 2010. – 190 с.
3. Ефимов, В.В. Статистические методы в управлении качеством продукции: Учебное пособие / В.В. Ефимов, Т.В. Барт. – М.: КноРус, 2013. – 234 с.
4. Львовский, Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: Учебное пособие для вузов / Е.Н. Львовский. – 2–е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1988. – 239 с.
5. Аскарлов, Е.М. Статистические методы в управлении качеством / Е.М. Аскарлов // Контрольно-измерительные приборы и автоматика в Казахстане». – 2007. – № 4. – С. 51–57.
6. Подмастерьев, К.В. Проблема оценки эффективности процессов жизненного цикла продукции в системе менеджмента качества / К.В. Подмастерьев, А.Н. Отрубянников, В.В. Марков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2013. – № 2. – С. 101–106.

**Подмастерьев Константин Валентинович**  
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орёл  
Доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой «Приборостроение, метрология и  
сертификация», директор Института  
приборостроения, автоматизации и информационных  
технологий  
Тел.: (4862)41–98–21;  
E-mail: asms-orel@mail.ru

**Марков Владимир Владимирович**  
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орёл  
Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Приборостроение, метрология и сертификация»  
Тел.: (4862)41–98–76;  
E-mail: pms35vm@yandex.ru

**Сметанников Артем Валерьевич**  
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орёл  
Магистрант Института приборостроения,  
автоматизации и информационных технологий

**Лукьянчиков Андрей Николаевич**  
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орёл  
Магистрант Института приборостроения,  
автоматизации и информационных технологий

K. V. PODMASTERYEV, V. V. MARKOV, A. V. SMETANNIKOV, A. N. LUKJANCHIKOV

## STATISTICAL APPRAISAL A QUALITY OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF AUTOMATIC TURNING BY RESULTS MEASURING THE SIZES OF ELEMENTS OF CONTACT PAIRS THE ELECTRICAL CONNECTORS

*The article describes the way of practical application of statistical methods for quality control of contact pairs of electrical connectors. The article considers the process of collecting statistical information about the technological process automatic turning of parts of the contact pairs. Shows the results of processing statistical information. Recommendations are made to improve the quality of the contact pairs of connectors. Compiled by technique of quality management of contact pairs according to the results of the statistical analysis of technological processes of their manufacture.*

**Keywords:** quality; electrical connector; contact pair; manufacturing process; quality management, statistical methods, methodic.

### BIBLIOGRAPHY

1. Gmurman, V. Ye. Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika. Uchebnoye posobiye / V. Ye. Gmurman. – Izd. 7–ye, ster. – M.: Vysshaya shkola, 1999. – 479 s.
2. Shishkin, I. F. Teoreticheskaya metrologiya. CH. 1. Obschchaya teoriya izmereniy: Uchebnik dlya vuzov / I. F. Shishkin. – SPb.: Piter, 2010. – 190 s.
3. Yefimov, V. V. Statisticheskiye metody v upravlenii kachestvom produktsii: Uchebnoye posobiye / V. V. Yefimov, T. V. Bart. – M.: KnoRus, 2013. – 234 s.
4. Lvovskiy, Ye. N. Statisticheskiye metody postroyeniya empiricheskikh formul: Uchebnoye posobiye dlya vuzov / Ye. N. Lvovskiy. – 2–ye izd., Pererab. I dop. – M.: Vysshaya shkola, 1988. – 239 s.
5. Askarov, Ye. M. Statisticheskiye metody v upravlenii kachestvom / Ye. M. Askarov // Kontrolno-izmeritelnyye pribory i avtomatika v Kazakhstane». – 2007. – № 4. – S. 51–57.
6. Podmasteryev, K. V. Problema otsenki effektivnosti protsessov zhiznennogo tsikla produktsii v sisteme menedzhmenta kachestva / K. V. Podmasteryev, A. N. Otrubyanikov, V. V. Markov // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2013. – № 2. – S. 101–106.

#### **Podmasteryev Konstantin Valentinovich**

Oryol State University names of I. S. Tyrgenev, Oryol, Russia  
Head of department «Device–building, Mertology and Sertification», doctor of technical science, professor  
Phone (4862)41-98-21;  
E– mail: asms-orel@mail.ru

#### **Smetannikov Artem Valerievich**

Oryol State University names of I. S. Tyrgenev, Oryol, Russia  
Magistrant of Institute Device–building, Automatic and, Information Technology  
Phone (4862)41-98-76;  
E– mail: pms35vm@yandex.ru

#### **Markov Vladimir Vladimirovich**

Oryol State University names of I. S. Tyrgenev, Oryol, Russia  
Associate professor of department «Device–building, Mertology and Sertification», kandidate of technical science,  
Phone (4862)41-98-76;  
E– mail: pms35vm@yandex.ru

#### **Lukyanchikov Andrey Nikolaevich**

Oryol State University names of I. S. Tyrgenev, Oryol, Russia  
Magistrant of Institute Device–building, Automatic and, Information Technology  
Phone (4862)41-98-76;  
E– mail: pms35vm@yandex.ru

УДК 73.266

Н. Н. ЗАВАЛИШИН, Е. В. НИКОЛАЕВ

## УСТОЙЧИВОСТЬ РЕЖИМОВ ИСПЫТАНИЙ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ВОЗБУЖДЕНИЯ

*В статье построены нелинейные математические модели электродинамических схем испытаний двигателей постоянного тока с двумя принятыми в технике типами возбуждения: последовательным и параллельным. Каждая модель представляет собой совокупность уравнений Кирхгофа для электрических цепей, механического уравнения*



моментов и теплового баланса в обмотке якоря испытуемого двигателя. Получены стационарные режимы и условия их асимптотической устойчивости, дающие в пространстве управляющих параметров границы устойчивости. Получены критические значения напряжений, при которых появляются автоколебания в «одинарных схемах».

**Ключевые слова:** Испытание тяговых двигателей постоянного тока; Нелинейные математические модели электродинамических схем испытаний тяговых двигателей; Стационарные режимы и условия устойчивости.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, А.Е. Тяговые электрические машины и преобразователи / А.Е. Алексеев. – Л.: Энергия, 1976. – 123 с.
2. Гольдберг, О.Д. Переходные процессы в электрических машинах и аппаратах и вопросы их проектирования / О.Д. Гольдберг. – М., Высшая Школа, 2001. – 265 с.
3. Винокуров, В.А. Электрические машины железнодорожного транспорта / В.А. Винокуров, Д.А. Попов. – М.: Транспорт, 1986. – 514 с.
4. Баутин, Н.Н. Поведение динамических систем вблизи границы области устойчивости / Н.Н. Баутин. – М., Наука, 1984. – 332 с.
5. Хэссард, Б. Теория и приложения бифуркации рождения цикла / Б. Хэссард, Н. Казаринов, И. Вэн. – М., Мир, 1985. – 274 с.
6. Красовский, Б.Н. Основы конструирования транспортных электрических машин / Б.Н. Красовский. – Л.: Энергия, 1970. – 412 с.
7. Малинецкий, Г.Г. Современные проблемы нелинейной динамики / Г.Г. Малинецкий, А.Б. Потапов. – М., Наука, 2000. – 654 с.
8. Находкин, М.Д. Электрические машины постоянного тока / М.Д. Находкин. – М., МПС СССР, 1960. – 112 с.
9. Курочка, А.Л. Увеличение срока службы тяговых электродвигателей / А.Л. Курочка, Л.Л. Зусмановская. – М.: Транспорт, 1970. – 232 с.
10. Ермолов, Н.П. Надежность электрических машин / Н.П. Ермолов, И.П. Жерихин. – Л.: Энергия, 1978. – 432 с.
11. Жиц, М.З. Переходные процессы в машинах постоянного тока / М.З. Жиц. М.: Энергия, 1974. – 278 с.
12. Бордаченков, А.М. Коллекторно-щеточный узел тяговых электрических машин локомотивов / А.М. Бордаченков, Б.В. Гнездилов. М.: Транспорт, 1974. – 314 с.
13. Курбасов, А.С. Повышение работоспособности тяговых электродвигателей / А.С. Курбасов. – М.: Транспорт, 1977. – 291 с.

### **Николаев Евгений Владимирович**

Старший преподаватель кафедры «Тяговый подвижной состав» Московского Государственного университета путей сообщения.  
Москва, ул. Часовая д.22/2;  
Тел.: +79031549570;  
E-mail: Work-omc@yandex.ru

### **Завалишин Николай Николаевич**

Старший научный сотрудник института Физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН.

---

N.N. ZAVALISHIN, E.V. NIKOLAEV

## **RESISTANCE TEST MODES OF TRACTION MOTORS OF ROLLING STOCK IN DIFFERENT TYPES OF EXCITATION**

*The article constructed a nonlinear mathematical model of electrodynamic circuits testing DC motors with two accepted in the technique of types of excitation: sequential and parallel. Each model is a set of Kirchhoff equations for electric circuits the mechanical equation of moments and the heat balance in the armature winding of the test motor. The obtained steady States and conditions for their asymptotic stability, giving in the space of control parameters of limits of stability. The obtained critical stress values at which oscillations appear in the «single scheme».*

**Keywords:** Testing of traction DC motors; mathematical model of Nonlinear electrodynamic circuits testing of traction motors; steady state and stability conditions.

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Alekseyev, A.Ye. Tyagovyye elektricheskiye mashiny i preobrazovateli / A.Ye. Alekseyev. – L.: Energiya, 1976. – 123 s.
2. Goldberg, O.D. Perekhodnyye protsessy v elektricheskikh mashinakh i apparatakh i voprosy ikh proyektirovaniya / O.D. Goldberg. – M., Vysshaya Shkola, 2001. – 265 s.

3. Vinokurov, V.A. Elektricheskiye mashiny zheleznodorozhnogo transporta / V.A. Vinokurov, D.A. Popov. – M.: Transport, 1986. – 514 s.
4. Bautin, N.N., Povedeniye dinamicheskikh sistem vblizi granitsy oblasti ustoychivosti / N.N. Bautin. – M., Nauka, 1984. – 332 s.
5. Khessard, B. Teoriya i prilozheniya bifurkatsii rozhdeniya tsikla / B. Khessard, N. Kazarinov, I. Ven. – M., Mir, 1985. – 274 s.
6. Krasovskiy, B.N. Osnovy konstruirovaniya transportnykh elektricheskikh mashin / B.N. Krasovskiy. – L.: Energiya, 1970. – 412 s.
7. Malinetskiy, G.G. Sovremennyye problemy nelineynoy dinamiki / G.G. Malinetskiy, A.B. Potapov. – M., Nauka, 2000. – 654 s.
8. Nakhodkin, M.D. Elektricheskiye mashiny postoyannogo toka / M.D. Nakhodkin. – M., MPS SSSR, 1960. – 112 s.
9. Kurochka, A.L. Uvelicheniye sroka sluzhby tyagovykh elektrodvigateley / A.L. Kurochka, L.L. Zusmanovskaya. – M.: Transport, 1970. – 232 s.
10. Yermolov, N.P. Nadezhnost elektricheskikh mashin / N.P. Yermolov, I.P. Zherikhin. – L.: Energiya, 1978. – 432 s.
11. Zhits, M.Z. Perekhodnyye protsessy v mashinakh postoyannogo toka / M.Z. Zhits. M.: Energiya, 1974. – 278 s.
12. Bordachenkov, A.M. Kollektorno–shchetochnyy uzel tyagovykh elektricheskikh mashin lokomotivov / A.M. Bordachenkov, B.V. Gnezdilov. M.: Transport, 1974. – 314 s.
13. Kurbasov, A.S. Povysheniye rabotosposobnosti tyagovykh elektrodvigateley / A.S. Kurbasov. – M.: Transport, 1977. – 291 s.

**Nikolaev Evgeny Vladimirovich**

Senior lecturer of the Department «Traction rolling stock»  
of the Moscow State University of railway engineering.  
Moscow, Chasovaya St., 22/2;  
Ph: +79031549570;  
E-mail: Work-omc@yandex.ru

**Zavalishin Nikolay Nikolayevich**

Senior researcher of the Institute of atmospheric Physics.  
A. M. Obukhov of RAS.

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

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

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

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

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

- Структура статьи:

УДК;

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

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

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

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

Текст статьи;

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

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

Фамилия, имя, отчество;

учреждение или организация;

ученая степень, ученое звание, должность;

адрес;

телефон;

электронная почта.

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

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

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

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

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

**Плата за опубликование статей не взимается.**

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

*Адрес учредителя:*

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  
(4862) 54–15–19, (4862) 55–55–24, +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 26.02.2017 г.  
Формат 60x88 1/8. Усл. печ. л. 9,19.  
Тираж 600 экз.  
Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе  
ОГУ имени И.С. Тургенева  
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.