

ISSN 2073-7408

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ  
И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ**

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**5 (355) 2022**

Редколлегия

Главный редактор

Радченко С.Ю. д-р техн. наук, проф.

Заместители главного редактора:

Барсуков Г.В. д-р техн. наук, проф.

Гордон В.А. д-р техн. наук, проф.

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

Поляков Р.Н. д-р техн. наук, проф.

Шоркин В.С. д-р физ.-мат. наук, проф.

Члены редколлегии:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ответственный секретарь:

Тюхта А.В. канд. техн. наук

Адрес редакции

302030, Орловская обл., г. Орел, ул.

Московская, 34

+7 (905) 169 88 99

<https://oreluniver.ru/science/journal/firppt>

E-mail: [radsu@rambler.ru](mailto:radsu@rambler.ru)

Зарег. в Федеральной службе по

надзору в сфере связи, информационных

технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство ПИ № ФС77-67029

от 30 августа 2016 года

Подписной индекс 29504

по объединенному каталогу

«Пресса России»

на сайтах [www.pressa-rl.ru](http://www.pressa-rl.ru) и [www.aks.ru](http://www.aks.ru)

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2022

## Содержание

### Теоретическая механика и ее приложения

Кирицьева В.И., Мукутадзе М.А. Повышение износостойкости радиального подшипника с полимерным покрытием..... 3

### Машиностроительные технологии и оборудование

Голенков В.А., Качанов А.Н., Качанов Н.А. Особенности закалки крупногабаритных валков индукционным способом..... 9  
Ковалев В.Д., Панков В.П., Радченко С.Ю., Герасимов В.П. Жаростойкие покрытия лопаток турбин авиационных газотурбинных двигателей..... 16

### Машиноведение и мехатроника

Миценко Е.В., Миценко В.Я., Печурин А.С., Шербакова М.П., Березина Л.В. Исследование САД модели манипулятора с помощью CAD Translation и Simscape Multibody..... 28  
Поляков Р.Н., Стебаков И.Н., Фетисов А.С., Казаков Ю.Н. Программное обеспечение для диагностики роторной системы в режиме реального времени..... 36  
Родичев А.Ю., Поляков Р.Н., Родичева И.В., Токмакова М.А. Моделирование роторно опорного узла с управляемым коническим подшипником..... 44  
Бондаренко М.Э., Поляков Р.Н., Горин А.В., Позднякова В.А. Комбинированный подшипниковый узел с изменяемыми жесткостными и демфирующими характеристиками..... 51

### Приборы, биотехнические системы и технологии

Афонин А.А., Сулаков А.С., Мамо М.Ш., Шаповалов Н.А. О некоторых вопросах построения алгоритма начальной выставки бесплатформенной инерциальной навигационной системы.... 58  
Король В.И., Ланкин М.В., Горбатенко Н.И. Регрессионная модель погрешности определения разницы между аппроксимированными кривыми..... 69  
Михеев М.Ю., Колесникова С.В., Пушкарёва А.В., Мамелина Т.Ю. Математическое моделирование жизненного цикла COVID-19, обнаруженного на основе сверточной нейронной сети..... 76  
Нгуен С.Ч., Овчинников А.В. Алгоритм и структурная схема системы фазовой синхронизации генераторов с ЛЧМ сигналом..... 84

### Контроль, диагностика, испытания и управление качеством

Аникеева О.В., Жилев А.А., Ивахненко А.Г., Исламова О.В., Козловский В.Н. Использование функциональной модели IDEF0 для расчёта рисков..... 89  
Незнанов А.И., Подмастерьев К.В., Суллов О.А. Анализ возможности измерения волнообразных неровностей при контроле железнодорожного пути с помощью датчика угла, установленного на тележке вагона..... 99

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

Лавриненко В.Ю., Утенков В.М., Молчанов А.А., Шагалев Р.Р., Данг Н.А. Экспериментальные исследования вибраций грунта при осадке и гибке на молотах..... 109  
Харченко А.О., Харченко А.А., Владецкая Е.А. Повышение эффективности формирования резьбы при изготовлении мелкокоразмерных пластически деформирующих метчиков..... 120  
Шарифуллин И.А., Носко А.Л., Сафонов Е.В., Серов И.Н. Метод выбора табличным способом тормозных роликов магнитного типа для паллетных гравитационных стеллажей..... 130  
Неменко А.В., Никитин М.М. Прочностная надежность изделия в зависимости от особенностей финишной обработки..... 144  
Осипов К.Н. Применение сверточных нейронных сетей для оценки технических состояний изделий машиностроения..... 150  
Харченко А.О., Харченко А.А., Владецкая Е.А. Прогрессивное оборудования для получения рабочей части мелкокоразмерных пластически деформирующих метчиков..... 158  
Годжаев З.А., Шеховцов В.В., Ляшенко М.В., Мерляк В.К., Потапов П.В. Приведение в соответствие динамических свойств силовых передач испытательного стенда и реальной машины..... 165  
Шведуненко А.А., Шеховцов В.В., Ляшенко М.В., Потапов П.В., Ваганов А.В. Разработка специального транспортного средства для лиц с ограниченными возможностями передвижения..... 176  
Буркова Е.В., Бурков Д.В. Оценка эффективности трёхкаскадных гелиостанций для горячего водоснабжения..... 188  
Неменко А.В., Никитин М.М. Управление процессом сверления глухого отверстия по напряжениям в обрабатываемой детали..... 194  
Георгиевская Е.В. Преимущество векторного анализа при оценке вибрационного состояния гидроагрегатов..... 199

Журнал входит в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» ВАК по следующим группам научных специальностей:

05.02.02. Машиноведение системы приводов и детали машин (технические науки), 05.02.18. Теория механизмов и машин (технические науки), 05.02.23. Стандартизация и управление качеством продукции (технические науки), 2.2.4. Приборы и методы измерения (по видам измерений) (технические науки), 2.2.5. Приборы навигации (технические науки), 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды (технические науки), 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки), 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки), 2.5.3. Трение и износ в машинах (технические науки), 2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы (технические науки), 2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки), 2.5.6. Технология машиностроения (технические науки), 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением (технические науки).

Журнал индексируется в системе Российского индекса научного цитирования РИНЦ, а также в международных системах Chemical Abstracts и Google Scholar.

## Editorial Committee

### Editor-in-chief

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

### Editor-in-chief Assistants:

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

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

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

Polyakov R.N. Doc. Sc. Tech., Prof.

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

### Member of editorial board:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Savin L.A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

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

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

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

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

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

### Executive secretary:

Tyukhta A.V. Candidate Sc. Tech.

### Address

302030, Oryol region, Oryol, st.

Moskovskaya, 34

+7 (905) 169 88 99

<https://oreluniver.ru/science/journal/fipptt>

E-mail: [radsu@rambler.ru](mailto:radsu@rambler.ru)

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

Index on the catalogue of the

«Pressa Rossii» 29504

on the websites [www.pressa-rf.ru](http://www.pressa-rf.ru)

and [www.aks.ru](http://www.aks.ru)

© Orel State University, 2022

## Contents

### Theoretical mechanics and its applications

Kirishchieva V.I., Mukutadze M.A. Increasing the wear resistance of a polymer-coated radial bearing ..... 3

### Machine-building technologies and equipment

Golenkov V.A., Kachanov A.N., Kachanov N.A. Features of hardening of large rolls by the induction method ..... 9

Kovalev V.D., Pankov V.P., Radchenko S.Y., Gerasimov V.P. Heat-resistant coatings of turbine blades of aviation gas turbine engines ..... 16

### Machine Science and Mechatronics

Mishchenko E.V., Mishchenko V.Ya., Pechurin, A.S. Shcherbakova M.P., Berezina L.V. manipulator CAD model studying with CAD Translation and Simscape Multibody ..... 28

Polyakov R.N., Stebakov I.N., Fetisov A.S., Kazakov Yu.N. Software for rotor system diagnosis in real time ..... 36

Rodichev A.Yu., Polyakov R.N., Rodicheva I.V., Tokmakova M.A. Simulation of a rotor support assembly with pilot conical bearing ..... 44

Bondarenko M.E., Polyakov R.N., Gorin A.V., Pozdniakova V.A. Combined bearing assembly with variable hardness and damping characteristics ..... 51

### Devices, biotechnical systems and technologies

Afonin A.A., Sulakov A.S., Maamo M.S., Shapovalov N.A. About some issues in the development of initial alignment algorithm for strapdown inertial navigation system ..... 58

Korol V.I., Lankin M.V., Gorbatenko N.I. Regression model of the error in determining the difference between the approximated curves ..... 69

Mikheev M.Y., Kolesnikova S.V., Pushkareva A.V., Mamelina T.Y. Mathematical modeling of COVID-19 life cycle detected on the basis of convolutional neural network ..... 76

Nguyen X.Tr., Ovchinnikov A.V. Algorithm and structural diagram of the phase synchronization system of generators with LFM signal ..... 84

### Monitoring, Diagnostics, Testing and Quality Management

Anikeeva O.V., Zhilyaev A.A., Ivakhnenko A.G., Islamova O.V., Kozlovsky V.N. Using the IDEF0 functional model to calculate risks ..... 89

Neznanov A.I., Podmasteryev K.V., Suslov O.A. Analysis of the possibility of measuring wave-like railway track irregularities with control method using an angle sensor installed on a wagon bogie ..... 99

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

Lavrinenko V.Yu., Utencov V.M., Molchanov A.A., Shagaleev R.R., Dang N.A. Experimental research of ground vibrations during upsetting and bending on hammers ..... 109

Kharchenko A.O., Kharchenko A.A., Vladetskaya E.A. Increasing the efficiency of thread forming in the manufacture of small-sized plastic deforming taps ..... 120

Sharifullin I.A., Nosko A.L., Safronov E.V., Serov I.N. Tabular selection method of magnetic type brake rollers for gravity roller racks ..... 130

Nemenko A.V., Nikitin M.M. Strength reliability of the product depending on the features of finishing ..... 144

Osipov K.N. Application of convolutional neural networks for evaluation of the technical conditions of engineering products ..... 150

Kharchenko A.O., Kharchenko A.A., Vladetskaya E.A. Progressive equipment for obtaining the working part of small-sized plastic deforming taps ..... 158

Godzhaev Z.A., Shekhovtsov V.V., Liashenko M.V., Merlyak V.K., Potapov P.V. Setting an alignment between dynamic characteristics of test stand and real vehicle drivetrains ..... 165

Shvedunenko A.A., Shekhovtsov V.V., Liashenko M.V., Potapov P.V., Vaganov A.V. Development of the special vehicle for persons with reduced mobility ..... 176

Burkova E.V., Burkov D.V. Evaluation of the effectiveness of three-stage solar stations for hot water supply ..... 188

Nemenko A.V., Nikitin M.M. Control of the blind hole drilling process by stresses in the processed part ..... 194

Georgievskaya E.V. Benefits of vector analysis in assessing the vibration state of hydraulic units ..... 199

The journal is included in the «List of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for obtaining the scientific degree of the candidate of sciences, for the academic degree of the doctor of sciences» of the Higher Attestation Commission for the following groups of scientific specialties:

05.02.02. Mechanical engineering of drive systems and machine parts (technical sciences), 05.02.18. Theory of mechanisms and machines (technical sciences), 05.02.23. Standardization and product quality management (technical sciences), 2.2.4. Instruments and measurement methods (by types of measurements) (technical sciences), 2.2.5. Navigation devices (technical sciences), 2.2.8. Methods and devices for monitoring and diagnosing materials, products, substances and the natural environment (technical sciences), 2.2.11. Information-measuring and control systems (technical sciences), 2.2.12. Devices, systems and products for medical purposes (technical sciences), 2.5.3. Friction and wear in machines (technical sciences), 2.5.4. Robots, mechatronics and robotic systems (technical sciences), 2.5.5. Technology and equipment for mechanical and physical-technical processing (technical sciences), 2.5.6. Engineering technology (technical sciences), 2.5.7. Technologies and machines for forming (technical sciences).

The journal is indexed in the system of the Russian Science Citation Index (RSCI), and also in international systems Chemical Abstracts and Google Scholar.



В.И. КИРИЩИЕВА, М.А. МУКУТАДЗЕ

## **ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РАДИАЛЬНОГО ПОДШИПНИКА С ПОЛИМЕРНЫМ ПОКРЫТИЕМ**

**Аннотация.** Цель исследования – установление закономерностей устойчивого гидродинамического режима за счёт нанесения на опорный профиль фторопластсодержащего композиционного полимерного материала.

Статья посвящена анализу модели движения истинно вязкого смазочного материала в рабочем зазоре радиального подшипника скольжения с опорным профилем, имеющим также на опорной поверхности фторопластсодержащее композиционное полимерное покрытие с канавкой.

Методы исследования: предложены новые модели, описывающие движение смазочного материала, обладающего при ламинарном режиме движения истинно вязкими реологическими свойствами в приближении для «тонкого слоя», уравнение неразрывности с учетом зависимости вязкости от давления, а также опорного профиля, имеющего полимерное покрытие с канавкой. Выполнен сравнительный анализ вновь полученных результатов и уже имеющихся, подтверждающий приближенность полученной модели к реальной практике.

Новизна работы заключается в разработке методики инженерных расчетов конструкции радиального подшипника скольжения с полимерным покрытием при наличии канавки, позволяющих определить величину основных триботехнических параметров.

В результате исследования достигнуто существенное расширение возможностей применения на практике расчетных моделей радиального подшипника скольжения с полимерным покрытием, работающего в гидродинамическом режиме смазывания на смазочном материале, обладающем при ламинарном режиме течения истинно вязкими реологическими свойствами, имеющим канавку, позволяющее провести оценку эксплуатационных характеристик подшипника: величину гидродинамического давления, нагрузочную способность и коэффициент трения.

Выводы: конструкция радиального подшипника с фторопластсодержащим антифрикционным композиционным полимерным покрытием и канавкой шириной 3 мм обеспечило стабильное всплытие вала на гидродинамическом клине, что экспериментально подтвердило правильность результатов теоретических исследований.

**Ключевые слова:** радиальный подшипник, повышение износостойкости, антифрикционное полимерное композиционное покрытие, канавка, гидродинамический режим, верификация.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Polyakov, R. The method of long-life calculation for a friction couple «rotor – hybrid bearing» / R. Polyakov, L. Savin // Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Coupled Problems in Science and Engineering, COUPLED PROBLEMS 2017, Rhodes Island, 12–14 июня 2017 г. – P. 433–440.
2. Кохановский, В. А. Фторопластсодержащие композиционные покрытия в смазочных средах / В. А. Кохановский, Э. А. Камерова // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2014. – № 1. – С. 34–37.
3. Кохановский, В. А. Вязкоупругие свойства полимерных покрытий в жидких смазочных средах / В. А. Кохановский, Э. А. Камерова // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2014. – № 2. – С. 44–48.
4. Поляков, Р. Н. Математическая модель бесконтактного пальчикового уплотнения с активным управлением зазором / Р. Н. Поляков, Л. А. Савин, А. В. Внуков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – № 1(327). – С. 66–71. – ISSN 2073-7408.
5. Исследование вязкоупругих и адгезионно-прочностных свойств и разработка эффективных вибропоглощающих композиционных полимерных материалов и покрытий машиностроительного назначения / С. С. Негматов, Н. С. Абед, Р. Х. Саидахмедов [и др.] // Пластические массы. – 2020. – № 7–8. – С. 32–36.
6. Predictive analysis of rotor machines fluid-film bearings operability / R. Polyakov, S. Majorov, I. Kudryavtsev, N. Krupenin // Vibroengineering procedia. – 2020. – Vol. 30. – P. 61–67. – DOI 10.21595/vp.2020.21379.
7. Application of artificial neural networks to diagnostics of fluid-film bearing lubrication / E. P. Kornaeva, A. V. Kornaev, Y. N. Kazakov, R. N. Polyakov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 734. – No. 012154. – DOI:10.1088/1757-899X/734/1/012154.
8. Shutin, D. V. Active hybrid bearings as mean for improving stability and diagnostics of heavy rotors of power generating machinery / D. V. Shutin, R. N. Polyakov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 862. – No. 032098. – DOI 10/1088/1757-899X/862/3/032098.
9. Mathematical model for a lubricant in a sliding bearing with a fusible coating in terms of viscosity depending on pressure under an incomplete filling of a working gap / D. U. Khasyanova, M. A. Mukutadze, A. M. Mukutadze, N. S.

Zadorozhnaya // Journal of machinery manufacture and reliability. – 2021. – Vol. 50. – No. 5. – P. 405–411. – DOI 10.3103/S1052618821050083

10. Mukutadze, M. A. Mathematical model of a lubricant in a bearing with a fusible coating on the pilot and irregular slider profile / M. A. Mukutadze, E. O. Lagunova // Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021). – 2022. – P. 834–840.

**Киришчьева Виктория Игоревна**  
ФГБОУ ВО РГУПС,  
старший преподаватель кафедры  
«Экономика, учет и анализ»,  
344038, г. Ростов-на-Дону,  
пл. Ростовского Стрелкового Полка  
Народного Ополчения, 2  
Тел. (928)908-19-46  
E-mail: Milaya\_vika@list.ru

**Мукутадзе Мурман Александрович**  
ФГБОУ ВО РГУПС,  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Высшая математика»,  
344038, г. Ростов-на-Дону,  
пл. Ростовского Стрелкового Полка  
Народного Ополчения, 2  
Тел. (863) 272-62-63  
E-mail: vm\_2@rgups.ru

---

V.I. KIRISHCHIEVA, M.A. MUKUTADZE

## INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF A POLYMER-COATED RADIAL BEARING

**Abstract.** *The article is devoted to one of the important problems of increasing the wear resistance of tribosystems by applying an antifriction polymer composite coating containing a groove that operates in a hydrodynamic mode to the tribocontact surface. Based on the equation of the flow of a truly viscous liquid for a «thin layer» and the continuity equation, a self-similar solution was found, taking into account the groove and without taking into account the groove, as a result, the velocity and pressure fields in the groove and on the surface of the polymer antifriction composite coating were determined, as well as the load capacity and friction force, allowing to determine the increase in wear resistance; an increase in the duration of the hydrodynamic regime. The results of numerical analysis of the obtained theoretical calculation models and experimental evaluation of the proposed design are also presented in order to verify and confirm the effectiveness of the obtained theoretical models.*

**Keywords:** *radial bearing, increased wear resistance, antifriction polymer composite coating, groove, hydrodynamic mode, verification.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Polyakov, R. The method of long-life calculation for a friction couple «rotor – hybrid bearing» / R. Polyakov, L. Savin // Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Coupled Problems in Science and Engineering, COUPLED PROBLEMS 2017, Rhodes Island, 2017, June 12–14. – P. 433–440.
2. Kohanovsky, V. A. Fluoroplast-containing composite coatings in lubricating media / V. A. Kohanovsky, E. A. Kameronova // Friction and lubrication in machines and mechanisms. – 2014. – No. 1. – P. 34–37.
3. Kohanovsky, V. A. Viscoelastic properties of polymer coatings in liquid lubricants / V. A. Kohanovsky, E. A. Kameronova // Friction and lubrication in machines and mechanisms. – 2014. – No. 2. – P. 44–48.
4. Polyakov, R. N. Mathematical model of contactless finger seal with active gap control / R. N. Polyakov, L. A. Savin, A. V. Vnukov // Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology. – 2018. – No. 1(327). – P. 66–71. – ISSN 2073-7408.
5. Research of viscoelastic and adhesive-strength properties and development of effective vibration-absorbing composite polymer materials and coatings for machine-building purposes / S. S. Negmatov, N. S. Abed, R. H. Saidakhmedov [et al.] // Plastic masses. – 2020. – No. 7-8. – P. 32–36.
6. Predictive analysis of rotor machines fluid-film bearings operability / R. Polyakov, S. Majorov, I. Kudryavcev, N. Krupenin // Vibroengineering procedia. – 2020. – Vol. 30. – P. 61–67. – DOI 10.21595/vp.2020.21379.
7. Application of artificial neural networks to diagnostics of fluid-film bearing lubrication / E. P. Kornaeva, A. V. Kornaev, Y. N. Kazakov, R. N. Polyakov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 734. – No. 012154. – DOI:10.1088/1757-899X/734/1/012154.
8. Shutin, D. V. Active hybrid bearings as mean for improving stability and diagnostics of heavy rotors of power generating machinery / D. V. Shutin, R. N. Polyakov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 862. – No. 032098. – DOI 10/1088/1757-899X/862/3/032098.
9. Mukutadze, M. A. Mathematical model of a lubricant in a bearing with a fusible coating on the pilot and irregular slider profile / M. A. Mukutadze, E. O. Lagunova // Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021). – 2022. – P. 834–840.
10. Mathematical model for a lubricant in a sliding bearing with a fusible coating in terms of viscosity depending on pressure under an incomplete filling of a working gap / D. U. Khasyanova, M. A. Mukutadze, A. M. Mukutadze, N. S. Zadorozhnaya // Journal of machinery manufacture and reliability. – 2021. – Vol. 50. – No. 5. – P. 405–411. – DOI 10.3103/S1052618821050083

Rostov State Transport University (RSTU),  
Senior lecturer of the Department  
of Economics, Accounting and Analysis,  
344038, Rostov-on-Don,  
Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo  
Opolcheniya sq., 2  
Ph. (928)908-19-46  
E-mail: Milaya\_vika@list.ru

Rostov State Transport University (RSTU),  
Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Head of the Department of Higher Mathematics,  
344038, Rostov-on-Don,  
Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo  
Opolcheniya sq., 2  
Ph. (863) 272-62-63  
E-mail: vm\_2@rgups.ru

© Кирищинева В.И., Мукутадзе М.А., 2022

## **МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ** **И ОБОРУДОВАНИЕ**

УДК 621.365.52

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-355-5-9-15

В.А. ГОЛЕНКОВ, А.Н. КАЧАНОВ, Н.А. КАЧАНОВ

### **ОСОБЕННОСТИ ЗАКАЛКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ВАЛКОВ ИНДУКЦИОННЫМ СПОСОБОМ**

**Аннотация.** В статье рассмотрены особенности протекания электрофизических процессов в крупногабаритных стальных цилиндрических валках при закалке их поверхностей индукционным способом. Показана зависимость глубины прокаливаемого слоя от частоты тока источника питания индукционной установки, удельной мощности и изменения электрофизические свойства нагреваемой стали в процессе нагрева. Установлено, что кинетика индукционной закалки стали характеризуется не только формой термической кривой и скоростью нагрева, но также зависит и от многих факторов, которые по ряду характерных признаков объединены в две группы. Рассмотрена физика процесса растворения карбидов и фазовых превращений, для характерных точек температурной кривой нагрева стали при индукционной закалке. Кратко рассмотрена индукционная установка для последовательно непрерывной закалки поверхностей стальных деталей цилиндрической формы снабженная ЭВМ, работающей в режиме «Советчик оператора закалочной установки» обеспечивающем не только повышение энергоэффективности её работы, но и улучшающей качество закалки поверхности крупногабаритных стальных валков.

**Ключевые слова:** закалка, индукционный способ, крупногабаритные стальные цилиндрические валки, глубина прокаливаемого слоя, удельная мощность, термическая кривая, скорость нагрева, электрофизические свойства стали, последовательно непрерывная закалка, советчик оператора закалочной установки.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Бабат, Г.И. Индукционный нагрев металлов и его промышленное применение [Текст] / Г.И. Бабат. Издание второе, переработанное и дополненное, – М.-Л.: Энергия, 1965. – 552 с.
2. Шепеляковский, К.З. Упрочнение деталей машин поверхностной закалкой при индукционном нагреве [Текст] / К.З. Шепеляковский. // – М., Машиностроение, 1972. – 288 с.
3. Качанов, Н.Н. Прокаливаемость стали [Текст] / Н.Н. Качанов. – М., Металлургия, 1978. – 192 с.
4. Слухоцкий, А.Е. Индукторы для индукционного нагрева [Текст]/А.Е. Слухоцкий, С. Е. Рыскин. – Л.: Энергия, 1974. – 264 с.
5. Качанов, А.Н. Автоматизированная система управления процессом индукционной закалки валков прокатных станов [Текст]/А.Н. Качанов, Е.А. Миронов // Материалы XVII международной научно-практической конференции (2 – 4 декабря 2019 г.) /Под. ред. докт. техн. наук, проф. О.В. Пилипенко, докт. техн. наук, проф. А.Н. Качанова, докт. техн. наук, проф. Ю.С. Степанова. – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева), 2019. – С. 129-133.
6. Качанов, А.Н. Индукционная закалка крупногабаритных валков прокатных станов [Текст] / А.Н. Качанов, Е.А. Миронов, В.А. Тимохин // Инновационные перспективы Донбасса, г. Донецк, 21-23 мая 2019. – Донецк: ДонНТУ, 2019. Материалы 5-й Международной научно-практической конференции. Т.2: 2. Перспективы развития электротехнических, электромеханических и энергосберегающих систем. С. 17-22.
7. Слухоцкий, А.Е. Индукторы [Текст]/ А.Е. Слухоцкий.//Под ред. А.Н. Шамова – 5-е изд., перераб. и доп. –Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 1989. – 69 с.
8. Головин, Г.Ф. Технология термической обработки металлов с применение индукционного нагрева. [Текст]/Г.Ф. Головин, Н.В. Зимин. //–4-е изд., перераб. и доп. –Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 1979. – 120 с.
9. Качанов, А. Н. Индукционное устройство для закалки стального валка прокатного стана Дуо-Кварто [Текст] / А.Н. Качанов, Е.А. Миронов.// – Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: материалы XVI международной научно-практической конференции/Под. ред. докт. техн. наук, проф. О.В. Пилипенко, докт. техн. наук, проф. А.Н. Качанова, докт. техн. наук, проф. Ю.С. Степанова. – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева), 2018. – С. 87-90.

**Голенков Вячеслав Александрович**  
ФГБОУ ВО «Орловский  
государственный университет им.  
И.С. Тургенева»,  
д.т.н., профессор, руководитель  
научной школы.  
302020, г. Орел, Наугорское шоссе,  
29  
тел. 8 (4862) 43 26 06  
e-mail: president@ostu.ru

**Качанов Александр Николаевич**  
ФГБОУ ВО «Орловский  
государственный университет им.  
И.С. Тургенева»,  
д.т.н., профессор, заведующий  
кафедрой электрооборудования и  
энергосбережения.  
302020, г. Орел, Наугорское шоссе,  
29  
тел. 8 (4862) 41 98 53  
e-mail: kan@ostu.ru

**Качанов Николай Александрович**  
АО «Орелоблэнерго», заместитель  
начальника производственной  
службы АТиРЗ  
302020, г. Орел, пл. Поликарпова, 8  
тел. 8 (4862) 54 11 67

---

V.A. GOLENKOV, A.N. KACHANOV, N.A. KACHANOV

## FEATURES OF HARDENING OF LARGE ROLLS BY THE INDUCTION METHOD

**Abstract.** *The article discusses the features of the flow of electrophysical processes in large-sized steel cylindrical rolls during hardening of their surfaces by induction. The dependence of the depth of the hardened layer on the frequency of the current of the power source of the induction installation, power density and changes in the electrical properties of the heated steel during heating is shown. It has been established that the kinetics of induction hardening of steel is characterized not only by the shape of the thermal curve and the heating rate, but also depends on many factors, which, according to a number of characteristic features, are combined into two groups. The physics of the process of dissolution of carbides and phase transformations is considered for the characteristic points of the temperature curve of steel heating during induction hardening. An induction installation for sequentially continuous hardening of surfaces of steel parts of a cylindrical shape, equipped with a computer operating in the "Hardening Plant Operator's Advisor" mode, which not only improves the energy efficiency of its operation, but also improves the quality of hardening of the surface of large steel rolls, is briefly considered.*

**Keywords:** *hardening, induction method, large steel cylindrical rolls, depth of the hardened layer, power density, thermal curve, heating rate, electrophysical properties of steel, successively continuous hardening, hardening plant operator's adviser.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Babat, G.I. Induction heating of metals and its industrial application [Text] / G.I. Babat. The second edition, revised and supplemented, - M.-L.: Energy, 1965. - 552 p.
2. Shepelyakovskiy, K.Z. Hardening of machine parts by surface hardening during induction heating [Text] / K.Z. Shepelyakovskiy. // - M., Mashinostroenie, 1972. - 288 p.
3. Kachanov, N.N. Hardenability of steel [Text] / N.N. Kachanov. - M., Metallurgy, 1978. - 192 p.
4. Slukhotsky, A.E. Inductors for induction heating [Text]/A.E. Slukhotsky, S. E. Ryskin. - L.: Energy, 1974. - 264 p.
5. Kachanov, A.N. Automated control system for the process of induction hardening of rolls of rolling mills [Text] / A.N. Kachanov, E.A. Mironov // Proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference (December 2 - 4, 2019) / Under. ed. doc. tech. sciences, prof. O.V. Pilipenko, Dr. tech. sciences, prof. A.N. Kachanova, Dr. tech. sciences, prof. Yu.S. Stepanova. - Eagle: OSU named after I.S. Turgenev), 2019. - P. 129-133.
6. Kachanov, A.N. Induction hardening of large rolls of rolling mills [Text] / A.N. Kachanov, E.A. Mironov, V.A. Timokhin // Innovative prospects of Donbass, Donetsk, May 21-23, 2019. - Donetsk: DonNTU, 2019. Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference. V.2: 2. Prospects for the development of electrical, electromechanical and energy-saving systems. pp. 17-22.
7. Slukhotsky, A.E. Inductors [Text] / A.E. Slukhotsky.//Ed. A.N. Shamova - 5th ed., revised. and additional - L.: Mechanical engineering. Leningrad. dept. 1989. - 69 p.
8. Golovin, G.F. Technology of heat treatment of metals using induction heating. [Text] / G.F. Golovin, N.V. Zimin. // - 4th ed., revised. and additional. - L.: Mechanical engineering. Leningrad. dept. 1979. - 120 p.
9. Kachanov, A.N. Induction device for hardening the steel roll of the Duo-Quarto rolling mill [Text] / A.N. Kachanov, E.A. Mironov.// - Energy and resource saving - XXI century: materials of the XVI international scientific and practical conference / Under. ed. doc. tech. sciences, prof. O.V. Pilipenko, Dr. tech. sciences, prof. A.N. Kachanova, Dr. tech. sciences, prof. Yu.S. Stepanova. - Eagle: OSU named after I.S. Turgenev), 2018. - S. 87-90.

**Golenkov Vyacheslav Alexandrovich**

**Kachanov Alexander Nikolaevich**  
FSBEI HE "Oryol State University.

**Kachanov Nikolay Aleksandrovich**  
JSC "Oreoblenergo", deputy head of



Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Oryol State University. I.S. Turgenev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Scientific School. 302020, Orel, Naugorskoye highway, 29 tel. 8 (4862) 43 26 06 e-mail: president@ostu.ru

I.S. Turgenev " Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the AEN of the Russian Federation, Head of the Department of Electrical Equipment and Energy Saving 302020, Orel, Naugorskoye shosse, 29 tel. 8 (4862) 41 98 53. e-mail: kan@ostu.ru

production service ATiRZ 302020, Orel, pl. Polikarpov, 8, tel. 8 (4862) 54 11 67.

© Голенков В.А., Качанов А.Н., Качанов Н.А., 2022

УДК 621.794

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-355-5-16-27

В.Д. КОВАЛЕВ, В.П. ПАНКОВ, С.Ю. РАДЧЕНКО, В.П. ГЕРАСИМОВ

## ЖАРОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ ЛОПАТОК ТУРБИН АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследования многослойного теплозащитного покрытия лопаток турбин авиационных ГТД, на основании анализа которых обоснованы требования к составу, структуре, долговечности его составляющих – сплаву, термобарьерному слою, связующему покрытию, термически выросшему оксиду, керамическому поверхностному покрытию.

**Ключевые слова:** газотурбинный двигатель, жаропрочный сплав, лопатка турбины, покрытие, термобарьерный слой, связующее покрытие, долговечность.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панков В.П. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Технологические процессы производства и ремонта летательных аппаратов и авиационных двигателей / В.П. Панков, А.Л. Бабаян, В.И. Табырца, А.А. Швецов // Учебное пособие: Краснодар, Краснодарское ВВАУЛ им. А.К.Серова., 2020 – С.328.
2. Панков В.П., Бабаян А.Л., Швецов А.А., Куликов М.В., Нефедовский В.А. Исследование закономерностей формирования диффузионных покрытий на современных жаропрочных никелевых сплавах// Ползуновский вестник.2020. №1. С.124-129.
3. Петрушин Н.В., Висик Е.М., Горбовец М.А., Назаркин Р.М. Структурно-фазовые характеристики и механические свойства монокристаллов жаропрочных никелевых ренийсодержащих сплавов с интерметаллидно-карбидным упрочнением// Металлы.2016. №4. С.57-70.
4. Панков В.П., Ковалев В.Д. Исследование диффузионных покрытий, нанесенных методов хромоалитирования в вакууме// Упрочняющие технологии и покрытия 2020.Т16. № 2(182). С. 85-92.
5. Панков В.П., Арустамова И.С., Степанова М.В., Фурсина А.Б., Арутюнян М.М. Исследование закономерностей формирования диффузионных покрытий, нанесенных хромоалитированием в вакууме// Упрочняющие технологии и покрытия. 2020.Т16. № 10 (190). С. 460-467.

#### **Ковалев Вячеслав Данилович**

Доктор технических наук, профессор  
Начальник отдела АО «Электроавтоматика»  
355016, г. Ставрополь, ул. Заводская, 9  
Тел. 8(918)751-26-72  
E-mail: kwd50@mail.ru

#### **Панков Владимир Петрович**

Кандидат технических наук, доцент  
Профессор Краснодарского ВВАУЛ  
350090, г. Краснодар, ул. Дзержинского, 135  
Тел. 8 (918) 861-09-36  
E-mail: pankovvp61@list.ru

#### **Радченко Сергей Юрьевич**

Доктор технических наук, профессор  
Проректор по научно-технологической деятельности и аттестации научных кадров ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»,  
302026, г. Оrel, ул. Комсомольская, д. 95  
Тел. (4862) 47-50-71  
E-mail: radsu@rambler.ru

#### **Герасимов Владимир Павлович**

Кандидат технических наук, доцент  
Доцент кафедры информационных систем  
Ставропольского ГАУ  
355017, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12  
Тел. 8(928)265 74 14  
E-mail: gvp-05@ mail.ru

V.D. KOVALEV, V.P. PANKOV, S.Y. RADCHENKO, V.P. GERASIMOV

## HEAT-RESISTANT COATINGS OF TURBINE BLADES OF AVIATION GAS TURBINE ENGINES

**Abstract.** *Studies of the multilayer heat-protective coating of turbine blades of aviation gas turbine engines have been carried out and the requirements for the composition, structure, durability of its components – alloy, thermal barrier layer, binder coating, thermally grown oxide, ceramic surface coating – have been substantiated.*

**Keywords:** *gas turbine engine, heat-resistant alloy, turbine blade, coating, thermal barrier layer, binder coating, durability.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Pankov V.P. Materials science and technology of structural materials. Technological processes of production and repair of aircraft and aircraft engines: Textbook / V.P.Pankov, A.L.Babayan, V.I. Tabyrtsa, A.A.Shvetsov Krasnodar VVAUL named after A.K.Serov.- Krasnodar, 2020. – p.328.

2. Pankov V.P., Babayan A.L., Shvetsov A.A., Kulikov M.V., Nefedovsky V.A. Investigation of the regularities of the formation of diffusion coatings on modern heat-resistant nickel alloys// Polzunovsky vestnik.2020.No.1.pp.124-129.

3. Petrushin N.V., Visik E.M., Gorbovets M.A., Nazarkin R.M. Structural and phase characteristics and mechanical properties of single crystals of heat-resistant nickel rhenium-containing alloys with intermetallic-carbide hardening// Metals.2016. No. 4. pp.57-70.

4. Pankov V.P., Kovalev V.D. Investigation of diffusion coatings applied by chromoalutising methods in vacuum// Strengthening technologies and coatings. 2020.T16. No. 2(182). pp. 85-92.

5. Pankov V.P., Arustamova I.S., Stepanova M.V., Fursina A.B., Harutyunyan M.M. Investigation of the regularities of the formation of diffusion coatings deposited by chromoalutising in vacuum// Strengthening technologies and coatings. 2020. T16. No. 10 (190). pp. 460-467.

#### **Kovalev Vyacheslav Danilovich**

Doctor of Technical Sciences, Professor  
Head of Department of JSC "Electroavtomatika"  
355016, Stavropol, Zavodskaya Str., 9  
Tel. 8(918)751-26-72  
E-mail kwd50@mail.ru

#### **Pankov Vladimir Petrovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
Professor of Krasnodar VVAUL  
350090, Krasnodar, Dzerzhinskogo str.. 135  
Tel. 8(918)861-09-36  
E-mail: pankowp61@list.ru

#### **Radchenko Sergey Yurievich**

Doctor of Technical Sciences, Professor  
Vice-Rector for Scientific and Technological Activities  
and Certification of Scientific Personnel of the State  
Educational University "OSU named after  
I.S. Turgenev"  
302026, Orel, Komsomolskaya Street, 95  
Tel. (4862) 47-50-71  
E-mail: radsu@rambler.ru

#### **Gerasimov Vladimir Pavlovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
Associate Professor of the Department of Information  
Systems of the Stavropol State Agrarian University  
355017, Stavropol, Zootechnical Lane, 12  
Tel. 8(928)265-74-14  
E-mail: gvp-05@mail.ru

© Ковалев В.Д., Панков В.П., Радченко С.Ю., Герасимов В.П., 2022

## **МАШИНОВЕДЕНИЕ И МЕХАТРОНИКА**

УДК 621.431

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-355-5-28-35

Е.В. МИЩЕНКО, В.Я. МИЩЕНКО, А.С. ПЕЧУРИН,  
М.П. ЩЕРБАКОВА, Л.В. БЕРЕЗИНА

## **ИССЛЕДОВАНИЕ САД МОДЕЛИ МАНИПУЛЯТОРА С ПОМОЩЬЮ CAD TRANSLATION И SIMSCAPE MULTIBODY**

**Аннотация.** Рассмотрены возможности динамического исследования САD-модели манипулятора после перевода её в Simscape Multibody с помощью CAD Translation. Приведены результаты моделирования. Описанный подход к моделированию позволяет воспроизвести динамику реального физического объекта.

**Ключевые слова:** моделирование манипулятора, управление манипулятором, САD-модель манипулятора, САD-транслятор, Simscape Multibody.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bi, Z., Wang, X. Computer aided design and manufacturing. – John Wiley & Sons, 2020.
2. Курсовое проектирование деталей машин на базе графических систем: учебное пособие / П.Н. Учайев, С.Г. Емельянов, Е.В. Мищенко [и др.]; под общ. ред. проф. П.Н. Учайева. – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 428 с.
3. Мищенко, В.Я., Мищенко, Е.В., Печурин, А.С. Моделирование перемешивающего устройства в среде Matlab/Simulink/Simmechanics // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. № 5 (337). 2019. – С. 30-36.
4. Мищенко, В.Я., Мищенко, Е.В., Печурин, А.С. Моделирование механизма сеного пресса в среде Matlab/Simulink/Simmechanics // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. № 6 (344). 2020. – С. 70-76.
5. Yakimenko, O.A. Engineering Computations and Modeling in MATLAB®/Simulink®. – American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2011.
6. Cardona, M., Cena, C.G. Direct kinematics and jacobian analysis of exoskeleton robots using screw theory and Simscape multibody™ // 2019 IEEE 39th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXIX). – IEEE, 2019. – С. 1-6.
7. CAD Translation // [MathWorks]. [Электронный ресурс] URL: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sm/ug/cad-translation.html>.
8. Kang, H.J. et al. Robot manipulator modeling in Matlab-SimMechanics with PD control and online gravity compensation // International Forum on Strategic Technology 2010. – IEEE, 2010. – С. 446-449.
9. Piltan, F. et al. PUMA-560 robot manipulator position computed torque control methods using Matlab/Simulink and their integration into graduate nonlinear control and Matlab courses // International Journal of Robotics and Automation. – 2012. – Т. 3. – №. 3. – С. 167-191.
10. Richter, C., Bry, A., Roy, N. Polynomial trajectory planning for aggressive quadrotor flight in dense indoor environments // Robotics research. – Springer, Cham, 2016. – С. 649-666.
11. Wang, H. et al. Smooth point-to-point trajectory planning for industrial robots with kinematical constraints based on high-order polynomial curve // Mechanism and Machine Theory. – 2019. – Т. 139. – С. 284-293.
12. Robot Modeling and Control by Mark W. Spong, Seth Hutchinson, M. Vidyasaga.
13. Get Started with Simscape Multibody // [MathWorks]. [Электронный ресурс] URL: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sm/getting-started-with-simmechanics.html>.

### **Мищенко Елена Владимировна**

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина»  
302020, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69  
кандидат технических наук, доцент  
Тел. 8-953-623-22-45  
E-mail: art\_lena@inbox.ru

### **Мищенко Владимир Яковлевич**

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94  
кандидат технических наук, доцент кафедры механики, мехатроники и робототехники  
Тел. 8-908-125-75-62  
E-mail: mishenko47@mail.ru

### **Печурин Александр Сергеевич**

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94,  
студент направления подготовки «Мехатроника и робототехника»  
E-mail: alexanderpechurin@yandex.ru

### **Щербакова Мария Петровна**

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94,  
студент направления подготовки «Мехатроника и робототехника»  
E-mail: 5-storm-7@mail.ru

### **Березина Лилия Владимировна**

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94,  
студент направления подготовки «Мехатроника и робототехника»  
E-mail: berezina.lilia2016@yandex.ru

E.V. MISHCHENKO, V.YA. MISHCHENKO, A.S. PECHURIN,  
M.P. SHCHERBAKOVA, L.V. BEREZINA

## MANIPULATOR CAD MODEL STUDYING WITH CAD TRANSLATION AND SIMSCAPE MULTIBODY

**Abstract.** *The possibilities of the dynamic research of the manipulator CAD-model after its translation into Simscape Multibody using CAD Translation are considered. The results of the simulation are presented. The described approach to modeling allows you to reproduce the dynamics of a real physical object.*

**Keywords:** *manipulator modeling, manipulator control, manipulator CAD model, CAD translator, Simscape Multibody.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Bi, Z., Wang, X. Computer aided design and manufacturing. – John Wiley & Sons, 2020.
2. Kursovoe proektirovanie detaley mashin na baze graficheskikh sistem: uchebnoe posobie / P.N. Uchaev, S.G. Emelyanov, E.V. Mishchenko [i dr.]; pod obshch. red. prof. P.N. Uchaeva. – Starij Oskol: TNT, 2012. – 428 s.
3. Mishchenko, V.Ya., Mishchenko, E.V., Pechurin, A.S. Modelirovanie peremeshivajushchego ustrojstva v srede Matlab/Simulink/Simmechanics // Fundamentalnie i prikladnie problemi tehniki i tehnologii. № 5 (337). 2019. – S. 30-36.
4. Mishchenko, V.Ya., Mishchenko, E.V., Pechurin, A.S. Modelirovanie mehanizma sennogo pressa v srede Matlab/Simulink/Simmechanics // Fundamentalnie i prikladnie problemi tehniki i tehnologii. № 6 (344). 2020. – S. 70-76.
5. Yakimenko, O.A. Engineering Computations and Modeling in MATLAB®/Simulink®. – American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2011.
6. Cardona, M., Cena, C.G. Direct kinematics and jacobian analysis of exoskeleton robots using screw theory and Simscape multibody™ // 2019 IEEE 39th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXIX). – IEEE, 2019. – P. 1-6.
7. CAD Translation // [MathWorks]. [Electronic resource] URL: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sm/ug/cad-translation.html>.
8. Kang, H.J. et al. Robot manipulator modeling in Matlab-SimMechanics with PD control and online gravity compensation // International Forum on Strategic Technology 2010. – IEEE, 2010. – P. 446-449.
9. Piltan, F. et al. PUMA-560 robot manipulator position computed torque control methods using Matlab/Simulink and their integration into graduate nonlinear control and Matlab courses // International Journal of Robotics and Automation. – 2012. – T. 3. – №. 3. – C. 167-191.
10. Richter, C., Bry, A., Roy, N. Polynomial trajectory planning for aggressive quadrotor flight in dense indoor environments // Robotics research. – Springer, Cham, 2016. – S. 649-666.
11. Wang, H. et al. Smooth point-to-point trajectory planning for industrial robots with kinematic constraints based on high-order polynomial curve // Mechanism and Machine Theory. – 2019. – T. 139. – S. 284-293.
12. Robot Modeling and Control by Mark W. Spong, Seth Hutchinson, M. Vidyannagar.
13. Get Started with Simscape Multibody // [MathWorks]. [Electronic resource] URL: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sm/getting-started-with-simmechanics.html>.

#### **Mishchenko Elena Vladimirovna**

Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin,  
302020, Orel, General Rodina street, 69,  
candidate of technical sciences, assistant professor  
Тел. 8-953-623-22-45  
E-mail: art\_lena@inbox.ru

#### **Mishchenko Vladimir Yakovlevich**

Southwest State University  
305040, Kursk, 50 let Oktjabrja street, 94,  
candidate of technical sciences, assistant professor of the  
department of mechanics, mechatronics and robotics,  
Тел. 8-908-125-75-62  
E-mail: mishenko47@mail.ru

#### **Pechurin Aleksandr Sergeevich**

Southwest State University  
305040, Kursk, 50 let Oktjabrja street, 94,  
Student of the field of training "Mechatronics and  
robotics»  
E-mail: alexanderpechurin@yandex.ru

#### **Shcherbakova Mariya Petrovna**

Southwest State University  
305040, Kursk, 50 let Oktjabrja street, 94,  
Student of the field of training "Mechatronics and  
robotics»  
E-mail: 5-storm-7@mail.ru

#### **Berezina Liliya Vladimirovna**

Southwest State University  
305040, Kursk, 50 let Oktjabrja street, 94,  
Student of the field of training "Mechatronics and  
robotics»  
E-mail: berezina.lilia2016@yandex.ru

Р.Н. ПОЛЯКОВ, И.Н. СТЕБАКОВ, А.С. ФЕТИСОВ, Ю.Н. КАЗАКОВ

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ РОТОРНОЙ СИСТЕМЫ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

**Аннотация.** Методы искусственного интеллекта успешно применяются в области мониторинга и диагностики состояния машин. В данной статье рассматривается проблема распознавания состояний роторной машины. Был проведен эксперимент по исследованию влияния дисбаланса ротора на показания датчиков. По результатам эксперимента была обучена полносвязная искусственная нейронная сеть для распознавания состояний роторной машины. В качестве входных данных для обучения нейросети использовались показания акселерометров и датчиков приближения записанные при различных состояниях системы. На основе полученной модели было реализовано программное обеспечение для диагностики роторной машины в режиме реального времени. Тестирование программного обеспечения показало точность диагностики до 100%.

**Ключевые слова:** методы искусственного интеллекта, распознавание, дефекты роторной машины, онлайн диагностика, нейронные сети.

*Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта «Создание цифровой системы мониторинга, диагностики и прогнозирования состояния технического оборудования с применением технологии искусственного интеллекта на базе отечественных аппаратных и программных средств», Соглашение №075-11-2021-043 от 25.06.2021 г.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бодянский Е.В., Руденко О.Г. Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения. Харьков: Теле-тех, 2004. 369 с.
2. Боровков, А. И., Рябов, Ю. А., Марусева, В. М. «Умные» цифровые двойники – основа новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продукции нового поколения // Трамплин к успеху. Цифровая экономика знаний. Издательский дом МЭИ, 2018 С. 13-17. (дата обращения 20.07.2019)
3. Al-Raheem Khalid F. Application of the Laplace-wavelet combined with ANN for rolling bearing fault diagnosis / Al-Raheem Khalid F. [at al.] // Trans. ASME. J. Vibr. and Acoust. - 2008. - Vol. 130, № 5. - P. 051007/1-051007/9.
4. Mingliang Bai, Jinfu Liu, Anomaly detection of gas turbines based on normal pattern extraction, Applied Thermal Engineering, in press, 114664.
5. Kingma D. P., Lei Ba J. ADAM: A METHOD FOR STOCHASTIC OPTIMIZATION.
6. Kumar A. и др. Improved deep convolution neural network (CNN) for the identification of defects in the centrifugal pump using acoustic images // Applied Acoustics. 2020. Т. 167. С. 107399.
7. Liu R. и др. Artificial intelligence for fault diagnosis of rotating machinery: A review // Mech Syst Signal Process. 2018. Т. 108. С. 33–47.
8. Stebakov I. и др. Fault diagnosis systems for rotating machines operating with fluid-film bearings // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology. 2022. Т. 1. № 2.
9. Zhang K. и др. A hybrid attention improved ResNet based fault diagnosis method of wind turbines gearbox // Measurement. 2021. Т. 179. С. 109491.
10. Engineer Ambitiously - NI [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ni.com/ro-ro.html> (дата обращения: 05.09.2022).
11. ReLU — PyTorch 1.12 documentation [Электронный ресурс]. URL: <https://pytorch.org/docs/stable/generated/torch.nn.ReLU.html> (дата обращения: 05.09.2022).
12. Softmax — PyTorch 1.12 documentation [Электронный ресурс]. URL: <https://pytorch.org/docs/stable/generated/torch.nn.Softmax.html> (дата обращения: 05.09.2022).
13. CrossEntropyLoss — PyTorch 1.12 documentation [Электронный ресурс]. URL: <https://pytorch.org/docs/stable/generated/torch.nn.CrossEntropyLoss.html> (дата обращения: 05.09.2022).
14. Welcome to Python.org [Электронный ресурс]. URL: <https://www.python.org/> (дата обращения: 05.09.2022).
15. PyTorch [Электронный ресурс]. URL: <https://pytorch.org/> (дата обращения: 06.11.2021).
16. NI-DAQmx Download - NI [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ni.com/ro-ro/support/downloads/drivers/download.ni-daqmx.html#460239> (дата обращения: 05.09.2022).

17. Welcome to wxPython! | wxPython [Электронный ресурс]. URL: <https://www.wxpython.org/> (дата обращения: 05.09.2022).

**Поляков Роман Николаевич**  
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»,  
доктор техн. наук, зав. кафедрой мехатроника,  
механика и робототехника  
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29  
Тел. +79038819381  
E-mail: romanpolak@mail.ru

**Стебаков Иван Николаевич**  
ФГБОУ ВО «Орловский государственный  
университет имени И.С. Тургенева», г Орёл  
Аспирант, младший научный сотрудник НОЦ  
«Интеллектуальных технологий мониторинга и  
диагностики энергогенерирующего оборудования»  
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
Тел. 8 953 618 08-66  
E-mail: chester50796@yandex.ru

**Фетисов Александр Сергеевич**  
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел  
младший научный сотрудник НОЦ  
«Интеллектуальные технологии мониторинга и  
диагностики энергогенерирующего оборудования»  
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29  
E-mail: fetisov57rus@mail.ru

**Казakov Юрий Николаевич**  
ФГБОУ ВО «Орловский государственный  
университет имени И.С. Тургенева», г Орёл  
Студент, стажер-исследователь НОЦ  
«Интеллектуальных технологий мониторинга и  
диагностики энергогенерирующего оборудования»  
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
Тел. 8 920 089 47-19  
E-mail: kazakyurii@yandex.ru

---

R.N. POLYAKOV, I.N. STEBAKOV, A.S. FETISOV, Yu. N. KAZAKOV

## **SOFTWARE FOR ROTOR SYSTEM DIAGNOSIS IN REAL TIME**

**Abstract.** *Artificial intelligence methods are successfully used in the field of monitoring and diagnosing the state of machines. This article deals with the problem of recognizing the states of a rotary machine. An experiment was conducted to study the effect of rotor imbalance on the readings of the sensors. Based on the results of the experiment, a fully connected artificial neural network was trained to recognize the states of a rotary machine. The readings of accelerometers and proximity sensors recorded under various system states were used as input data for training the neural network. On the basis of the obtained model, software for real-time diagnostics of the rotary machine was implemented. Software testing showed diagnostic accuracy up to 100%.*

**Keywords:** *artificial intelligence methods, recognition, rotor machine defects, online diagnostics, neural networks.*

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Bodyansky E.V., Rudenko O.G. Artificial neural networks: architectures, training, applications. Kharkov: Tele-Tech, 2004. 369 s.
2. Borovkov, A. I., Ryabov, Yu. A., Maruseva, V. M. "Smart" digital twins - the basis of the new paradigm of digital design and modeling of globally competitive products of the new generation // Tramplin to success. The digital economy of knowledge. MEI Publishing House, 2018 pp. 13-17. (accessed July 20, 2019)
3. Al-Raheem Khalid F. Application of the Laplace-wavelet combined with ANN for rolling bearing fault diagnosis / Al-Raheem Khalid F. [at al.] // Trans. ASME. J. Vibr. and Acoust. - 2008. - Vol. 130, No. 5. - P. 051007 / 1-051007 / 9.
4. Mingliang Bai, Jinfu Liu, Anomaly detection of gas turbines based on normal pattern extraction, Applied Thermal Engineering, in press, 114664.
5. Zhang K. et al. A hybrid attention improved ResNet based fault diagnosis method of wind turbines gearbox // Measurement. Elsevier, 2021. Vol. 179. P. 109491.
6. Kumar A. et al. Improved deep convolution neural network (CNN) for the identification of defects in the centrifugal pump using acoustic images // Applied Acoustics. Elsevier Ltd, 2020. Vol. 167. P. 107399.
7. Liu R. et al. Artificial intelligence for fault diagnosis of rotating machinery: A review // Mechanical Systems and Signal Processing. Academic Press, 2018. Vol. 108. P. 33-47.
8. Stebakov I. et al. Fault diagnosis systems for rotating machines operating with fluid-film bearings // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology. SAGE Publications Sage UK: London, England, 2022. Vol. 1, № 2.
9. Engineer Ambitiously - NI [Electronic resource]. URL: <https://www.ni.com/ro-ro.html> (accessed: 05.09.2022).

10. ReLU — PyTorch 1.12 documentation [Electronic resource]. URL: <https://pytorch.org/docs/stable/generated/torch.nn.ReLU.html> (accessed: 05.09.2022).
11. Softmax — PyTorch 1.12 documentation [Electronic resource]. URL: <https://pytorch.org/docs/stable/generated/torch.nn.Softmax.html> (accessed: 05.09.2022).
12. CrossEntropyLoss — PyTorch 1.12 documentation [Electronic resource]. URL: <https://pytorch.org/docs/stable/generated/torch.nn.CrossEntropyLoss.html> (accessed: 05.09.2022).
13. Kingma D.P., Lei Ba J. ADAM: A METHOD FOR STOCHASTIC OPTIMIZATION.
14. Welcome to Python.org [Electronic resource]. URL: <https://www.python.org/> (accessed: 05.09.2022).
15. PyTorch [Electronic resource]. URL: <https://pytorch.org/> (accessed: 06.11.2021).
16. NI-DAQmx Download - NI [Electronic resource]. URL: <https://www.ni.com/ro-ro/support/downloads/drivers/download.ni-daqmx.html#460239> (accessed: 05.09.2022).
17. Welcome to wxPython! | wxPython [Electronic resource]. URL: <https://www.wxpython.org/> (accessed: 05.09.2022).

**Polyakov Roman Nikolaevich**

Orel State University named after I.S. Turgenev  
doctor of technical Sciences, associate professor of the  
department mechatronics, mechanics and robotics  
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
Ph.: +79038819381  
E-mail: romanpolak@mail.ru

**Stebakov Ivan Nikolaevich**

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel  
Graduate student, Junior Researcher of Scientific  
Educational Center Intelligent technologies for  
monitoring and diagnostics of power generating  
equipment  
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
Ph. 8 953 618 08-66  
E-mail: chester50796@yandex.ru

**Fetisov Alexander Sergeevich**

Orel State University named after I.S. Turgenev  
Junior Researcher of Scientific Educational Center  
Intelligent technologies for monitoring and diagnostics  
of power generating equipment  
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
E-mail: fetisov57rus@mail.ru

**Kazakov Yuri Nickolaevich**

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel  
Student, Junior Researcher of Scientific Educational  
Center Intelligent technologies for monitoring and  
diagnostics of power generating equipment  
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
E-mail: kazakyurii@yandex.ru

© Поляков Р.Н., Стебаков И.Н., Фетисов А.С., Казаков Ю.Н., 2022

УДК 621.82

DOI:10.33979/2073-7408-2022-355-5-44-50

А.Ю. РОДИЧЕВ, Р.Н. ПОЛЯКОВ, И.В. РОДИЧЕВА, М.А. ТОКМАКОВА

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РОТОРНО ОПОРНОГО УЗЛА С УПРАВЛЯЕМЫМ КОНИЧЕСКИМ ПОДШИПНИКОМ

**Аннотация.** В статье рассматриваются закономерности изменения технического состояния агрегатов, узлов, механизмов и их систем определяющие затраты ресурсов и потери, связанные с поддержанием работоспособности технологического оборудования. Предложена принципиальная схема конического подшипника скольжения с управляемыми характеристиками. Представлена и описана принципиальная схема опорного узла с коническим подшипником скольжения с управляемыми характеристиками. Записана математическая модель смазочного слоя подшипника скольжения, основанная на численном решении уравнения Рейнольдса. Приведена расчетная схема роторно-опорного узла мехатронного конического подшипника скольжения с изменяемым зазором. Сформулировано уравнение регрессии полнофакторного эксперимента. Получена зависимость изменения величины зазора между опорной поверхностью подшипника и ротором. Получено подтверждение адекватности модели и полученное регрессионное уравнение достаточно точно описывает влияние факторов на изменение величины зазора между опорной поверхностью подшипника и ротором в зависимости от разного положения конической опорной поверхности подшипника, диаметра ротора и частоты вращения ротора.

**Ключевые слова:** моделирование, подшипник, скольжение, поверхность, износ, зазор.

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта «Создание цифровой системы мониторинга, диагностики и прогнозирования состояния технического оборудования с применением технологии искусственного интеллекта на базе отечественных аппаратных и программных средств», Соглашение №075-11-2021-043 от 25.06.2021 г.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артеменко, Н. П. Газожидкостные опоры роторов криогенных турбонасосных агрегатов [Текст] / Н. П. Артеменко [и др.] – М.: КБ Химмаш, 1993. – 146 с.
2. Давыдов, А. Б. Расчет и конструирование турбодетандеров [Текст] / А. Б. Давыдов, А. Ш. Кобулашвили, А. Н. Шерстюк – М. Машиностроение, 1987. – 230 с.
3. Патент RU 2752741 МПК F16C 17/02 Подшипник скольжения / Родичев А.Ю., Поляков Р.Н., Савин Л.А, Майоров С.В., Казаков Ю.Н. – Опубл. 01.12.2020 Бюл. № 22.
4. Типей, Н. Подшипники скольжения: расчет, проектирование, смазка [Текст] / Н. Типей, В.Н. КонстантINESCU и др. – Бухарест: Изд-во АН РНР, 1964. – 458с.
5. Денисенко, В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием [Текст] / В.В Денисенко. – М.: "Горячая линия–Телеком", 2009. – 608 с.
6. Коровчинский, М. В. Теоретические основы работы подшипников скольжения [Текст] / М. В. Коровчинский – М.: Mashgiz, 1959. – 404 с.
7. Новиков, Е. А. Метод расчета и разработка упорных гидростатических подшипников, смазываемых маловязкими жидкостями: Дисс... канд. техн. наук. – Казань, 2003. – 146 с.
8. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. [Текст] / Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. - М.: Наука, 1971. - 282с.

### Родичев Алексей Юрьевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»,  
канд. техн. наук, доцент кафедры сервиса  
и ремонта машин  
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29  
E-mail: rodfox@yandex.ru

### Поляков Роман Николаевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»,  
доктор техн. наук, зав. кафедрой мехатроника,  
механика и робототехника  
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29  
E-mail: romanpolak@mail.ru

### Родичева Ирина Владимировна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»  
аспирант  
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29  
E-mail: rodfox@yandex.ru

### Токмакова Мария Андреевна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»  
аспирант  
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29  
E-mail: gorin57@mail.ru

---

A.Yu. RODICHEV, R.N. POLYAKOV, I.V. RODICHEVA., M.A. TOKMAKOVA

## SIMULATION OF A ROTOR SUPPORT ASSEMBLY WITH PILOT CONICAL BEARING

**Abstract.** *The article discusses the patterns of changes in the technical condition of aggregates, assemblies, mechanisms and their systems that determine the cost of resources and losses associated with maintaining the operability of technological equipment. A schematic diagram of a tapered sliding bearing with controllable characteristics is proposed. A schematic diagram of a support unit with a conical sliding bearing with controllable characteristics is presented and described. A mathematical model of the lubricating layer of a sliding bearing based on the numerical solution of the Reynolds equation is recorded. The design scheme of the rotor-bearing assembly of a mechatronic tapered sliding bearing with a variable clearance is given. The regression equation of a full-factorial experiment is formulated. The dependence of the change in the size of the gap between the bearing bearing surface and the rotor is obtained. The adequacy of the model has been confirmed and the regression equation obtained accurately describes the influence of factors on the change in the size of the gap between the bearing support surface and the rotor depending on the different position of the conical bearing support surface, the rotor diameter and the rotor speed.*

**Keywords:** modeling, bearing, sliding, surface, wear, clearance.

## BIBLIOGRAPHY

1. Artemenko, N. P. Gas-liquid supports of rotors of cryogenic turbopump units / N. P. Artemenko [et al.] – Moscow: KB Himmash, 1993. – 146 p.
2. Davydov, A. B. Calculation and design of turbo expanders / A. B. Davydov, A. Sh. Kobulashvili, A. N. Sherstyuk – M. Mashinostroenie, 1987. – 230 p.
3. Patent RU 2752741 IPC F16C 17/02 Sliding bearing / Rodichev A.Yu., Polyakov R.N., Savin L.A., Mayorov S.V., Kazakov Yu.N. – Publ. 01.12.2020 Byul. No. 22.
4. Tipei, N. Sliding bearings: calculation, design, lubrication / N. Tipei, V.N. Constantinescu et al. – Bucharest: Publishing House of the Russian Academy of Sciences, 1964. – 458s.
5. Denisenko, V.V. Computer control of technological process, experiment, equipment / V.V. Denisenko. – M.: "Hotline–Telecom", 2009. – 608 p.



6. Korovchinsky, M. V. Theoretical foundations of the work of sliding bearings / M. V. Korovchinsky – M.: Mashgiz, 1959. – 404 p.
7. Novikov, E. A. Calculation method and development of thrust hydrostatic bearings lubricated with low-viscosity fluids: Dissertation of the Candidate of Technical Sciences. – Kazan, 2003. – 146 p.
8. Adler, Yu.P. Experiment planning in the search for optimal conditions. / Adler Yu.P., Markova E.V., Granovsky Yu.V. - M.: Nauka, 1971. - 282s.

**Rodichev Alexey Yurevich**

Orel State University named after I.S. Turgenev  
candidate of technical Sciences, associate professor of  
the department service and repair of machines  
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
E-mail: rodfox@yandex.ru

**Polyakov Rman Nikolaevich**

Orel State University named after I.S. Turgenev  
doctor of technical Sciences, associate professor of the  
department mechatronics, mechanics and robotics  
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
E-mail: romanpolak@mail.ru

**Rodicheva Irina Vladimirovna**

Orel State University named after I.S. Turgenev  
graduate student  
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
E-mail: rodfox@yandex.ru

**Tokmakova Maria Andreevna**

Orel State University named after I.S. Turgenev  
graduate student  
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
E-mail: gorin57@mail.ru

© Родичев А.Ю., Поляков Р.Н., Родичева И.В., Токмакова М.А., 2022

УДК 621.82

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-355-5-51-57

М.Э. БОНДАРЕНКО, Р.Н. ПОЛЯКОВ, А.В. ГОРИН, В.А. ПОЗДНЯКОВА

## КОМБИНИРОВАННЫЙ ПОДШИПНИКОВЫЙ УЗЕЛ С ИЗМЕНЯЕМЫМИ ЖЁСТКОСТНЫМИ И ДЕМПФИРУЮЩИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

**Аннотация.** *Повышение мощности и эффективности новых разрабатываемых вращающихся механизмов неразрывно связано с ростом их скоростей вращения и общего уровня вибрации. Лепестковые газодинамические подшипники имеют больший приоритет применения в высокоскоростных механизмах в виду их практически неограниченной предельной быстроходности, отсутствия дополнительной системы смазки, низких потерь мощности на трении и т.д. Тем не менее повышенное трение и низкая грузоподъёмность в период пуска-останова является проблемой для дальнейшего применения лепестковых газодинамических подшипников. Исследуемая в работе комбинированная опора включает в себя подшипник качения, лепестковый газодинамический подшипник и актуаторы. Актуаторы позволяют в процессе работы переключаться с одного вида подшипника на другой, а также управлять зазором лепесткового газодинамического подшипника, изменяя динамические характеристики опоры в целом. На базе исследуемой опоры разработан экспериментальный стенд для изучения динамических характеристик. Была построена математическая модель опоры, которая подтверждена результатами экспериментов.*

**Ключевые слова:** *жесткость, демпфирование, комбинированная опора, экспериментальный стенд.*

*Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта «Создание цифровой системы мониторинга, диагностики и прогнозирования состояния технического оборудования с применением технологии искусственного интеллекта на базе отечественных аппаратных и программных средств», Соглашение №075-11-2021-043 от 25.06.2021 г.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаевик, Д.Т. Подшипниковые опоры современных машин / Д.Т. Гаевик // М.: Машиностроение, 1985. – 248 с.
2. Горюнов, Л.В. Особенности работы совмещенной опоры в системе авиационного ГТД / Л.В. Горюнов, В.В. Такмовцев, В.С. Гагай, А.Н. Королев, Л.И. Бурлаков // Вестник Казан. гос. техн. ун-та им. А.Н. Туполева, 1998. – № 3. – С. 12-14.
3. Ханович М.Г. Опоры жидкостного трения и комбинированные опоры. – Л.: Mashgiz, 1960. – 272 с.
4. Experimental evaluation of the series hybrid rolling bearing / R.J. Parker, D.P. Fleming, W.J. Anderson, H.H. Coo. – NASA TN D-7011, 1970. – 27 p.
5. Butner M.F. Space shuttle main engine long-life bearings / M.F. Butner, B.T. Murphy. – NASA CR179455, 1986. – 163 p.

6. Nielson C.E. Hybrid hydrostatic/ball bearings in highspeed turbomachinery. – NASA CR-168124, 1982. – 386 p.
7. Harnoy A. Hydro-Roll: A novel bearing design with superior thermal characteristics / A. Harnoy, M. Khonsary // Tribology transactions, 1996. – Vol. 39. – PP. 455-461.
8. Dun L. Static characteristics of a new hydrodynamic–rolling hybrid bearing / L. Dun, Z. Wanhua, L. Bingheng, Z. Juan // Tribology International, 2012. – Vol. 48. – PP. 87-92.
9. Jeong S. Effects of eccentricity and vibration response on high-speed rigid rotor supported by hybrid foil-magnetic bearing // S. Jeong, Y. Lee // Journal of mechanical engineering science, 2015. – Vol. 230. – PP. 994-1006.
10. Feng K. Experimental evaluation of the structure characterization of a novel hybrid bump-metal mesh foil bearing / K. Feng, Y. Liu, X. Zhao, W. Liu // Journal of tribology, 2015. – Vol. 138.
11. Delgado A. Experimental identification of dynamic force coefficients for a 110 mm compliantly damped hybrid gas bearing / A. Delgado // Journal of engineering for gas turbines and power, 2014. – Vol. 137.
12. Поляков Р.Н. Основы теории и методология расчета комбинированных опор роторов: дис. д-ра. техн. наук: 05.02.02 / Поляков Роман Николаевич. – 2017. – 439 с.
13. Бондаренко М.Э., Поляков Р.Н. Комбинированная опора // Патент РФ №2561199. 2014. Бюл. №24.
14. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. – М.: Книга по Требованию, 2013 – 321 с.
15. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в науке и технике. – Москва, 1981. – 182 с.
16. Лавренчик В.Н. Постановка физического эксперимента и статистическая обработка его результатов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 272 с.
17. Peng J. Calculation of stiffness and damping coefficients for elastically supported gas foil bearings / J. Peng, M. Carpino // Transactions of the ASME, 1993. – Vol. 115. – PP. 20-27.
18. Jeong S. Rigid mode vibration control and dynamic behavior of hybrid foil-magnetic bearing turbo power / S. Jeong, D. Jeon, Y. Lee // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2017. – Vol. 139.

**Бондаренко Максим Эдуардович**

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел  
канд. техн. наук, старший преподаватель  
кафедры мехатроники, механики и робототехники  
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29  
E-mail: maxbondarenko22@yandex.ru

**Поляков Роман Николаевич**

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»,  
доктор техн. наук, зав. кафедрой мехатроника,  
механика и робототехника  
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29  
E-mail: romanpolak@mail.ru

**Горин Андрей Владимирович**

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»  
канд. техн. наук, доцент кафедры мехатроника,  
механика и робототехника  
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29  
E-mail: gorin57@mail.ru

**Позднякова Валерия Александровна**

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»  
студент  
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29  
E-mail: stalker.20122@yandex.ru

---

M.E. BONDARENKO, R.N. POLYAKOV, A.V. GORIN, V.A. POZDNIAKOVA

**COMBINED BEARING ASSEMBLY WITH VARIABLE HARDNESS  
AND DAMPING CHARACTERISTICS**

**Abstract.** *Increasing the power and efficiency of newly developed rotating mechanisms is inextricably linked with the growth of their rotation speeds and the overall level of vibration. Gas dynamic petal bearings have a higher priority for use in high-speed mechanisms due to their practically unlimited maximum speed, the absence of an additional lubrication system, low frictional power losses, etc. However, increased friction and low load capacity during the start-stop period is a problem for the further use of gas dynamic petal bearings. The combined support investigated in the work includes a rolling bearing, a gas-dynamic petal bearing and actuators. Actuators make it possible to switch from one type of bearing to another during operation, as well as to control the gap of the gas-dynamic petal bearing, changing the dynamic characteristics of the support as a whole. On the basis of the investigated support, an experimental stand was developed to study the dynamic characteristics. A mathematical model of the support was built, which was confirmed by the results of experiments.*

**Keywords:** *stiffness, damping, hybrid bearing, test rig.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Gaevik, D.T. Podshipnikovye opory sovremennyh mashin / D.T. Gaevik // М.: Mashinostroenie, 1985. – 248 s.
2. Goryunov, L.V. Osobennosti raboty sovmeshchennoj opory v sisteme aviacionnogo GTD / L.V. Goryunov, V.V. Takmovcev, B.C. Gagaj, A.N. Korolev, L.I. Burlakov // Vestnik Kazan. gos. tekhn. un-ta im. A.N. Tupoleva, 1998. – № 3. – S. 12-14.

3. Hanovich M.G. Opory zhidkostnogo treniya i kombinirovannye opory. – L.: Mashgiz, 1960. – 272 s.
4. Experimental evaluation of the series hybrid rolling bearing / R.J. Parker, D.P. Fleming, W.J. Anderson, H.H. Coe. – NASA TN D-7011, 1970. – 27 p.
5. Butner M.F. Space shuttle main engine long-life bearings / M.F. Butner, B.T. Murphy. – NASA CR179455, 1986. – 163 p.
6. Nielson C.E. Hybrid hydrostatic/ball bearings in highspeed turbomachinery. – NASA CR-168124, 1982. – 386 p.
7. Harnoy A. Hydro-Roll: A novel bearing design with superior thermal characteristics / A. Harnoy, M. Khonsary // Tribology transactions, 1996. – Vol. 39. – PP. 455-461.
8. Dun L. Static characteristics of a new hydrodynamic-rolling hybrid bearing / L. Dun, Z. Wanhua, L. Bingheng, Z. Juan // Tribology International, 2012. – Vol. 48. – PP. 87-92.
9. Jeong S. Effects of eccentricity and vibration response on high-speed rigid rotor supported by hybrid foil-magnetic bearing // S. Jeong, Y. Lee // Journal of mechanical engineering science, 2015. – Vol. 230. – PP. 994-1006.
10. Feng K. Experimental evaluation of the structure characterization of a novel hybrid bump-metal mesh foil bearing / K. Feng, Y. Liu, X. Zhao, W. Liu // Journal of tribology, 2015. – Vol. 138.
11. Delgado A. Experimental identification of dynamic force coefficients for a 110 mm compliantly damped hybrid gas bearing / A. Delgado // Journal of engineering for gas turbines and power, 2014. – Vol. 137.
12. Polyakov R.N. Osnovy teorii i metodologiya rascheta kombinirovannykh opor rotorov: dis. d-ra. tekhn. nauk: 05.02.02 / Polyakov Roman Nikolaevich. – 2017. – 439 s.
13. Bondarenko M.E., Polyakov R.N. Kombinirovannaya opora // Patent RF №2561199. 2014. Byul. №24.
14. SHenk H. Teoriya inzhenernogo ehksperimenta. – M.: Kniga po Trebovaniyu, 2013 – 321 s.
15. Dzhonson N. Statistika i planirovanie ehksperimenta v nauke i tekhnike. – Moskva, 1981. – 182 s.
16. Lavrenchik V.N. Postanovka fizicheskogo ehksperimenta i statisticheskaya obrabotka ego rezul'tatov. – M.: ENergoatomizdat, 1986. – 272 s.
17. Peng J. Calculation of stiffness and damping coefficients for elastically supported gas foil bearings / J. Peng, M. Carpino // Transactions of the ASME, 1993. – Vol. 115. – PP. 20-27.
18. Jeong S. Rigid mode vibration control and dynamic behavior of hybrid foil-magnetic bearing turbo power / S. Jeong, D. Jeon, Y. Lee // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2017. – Vol. 139.

**Polyakov Roman Nikolaevich**

Orel State University named after I.S. Turgenev  
 doctor of technical Sciences, associate professor of the  
 department mechatronics, mechanics and robotics  
 302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
 E-mail: romanpolak@mail.ru

**Gorin Andrei Vladimirovich**

Orel State University named after I.S. Turgenev  
 candidate of technical Sciences, associate professor of  
 the department mechatronics, mechanics and robotics  
 302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
 E-mail: gorin57@mail.ru

**Bondarenko Maxim Eduardovich**

Orel State University  
 candidate of technical Sciences, assistant of the  
 Department mechatronics, mechanics and robotics  
 302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
 E-mail: maxbondarenko22@yandex.ru

**Pozdniakova Valeria Alexandrovna**

Orel State University named after I.S. Turgenev  
 student  
 302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
 E-mail: stalker.20122@yandex.ru

© Бондаренко М.Э., Поляков Р.Н., Горин А.В., Позднякова В.А., 2022

## **ПРИБОРЫ, БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

УДК 629.7.054.07

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-355-5-58-68

А.А. АФОНИН, А.С. СУЛАКОВ, М.Ш. МААМО, Н.А. ШАПОВАЛОВ

### **О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ ПОСТРОЕНИЯ АЛГОРИТМА НАЧАЛЬНОЙ ВЫСТАВКИ БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ**

***Аннотация.** Способные к автономной работе бесплатформенные инерциальные навигационные системы относятся к основным средствам решения задач ориентации и навигации современных летательных аппаратов. Для их нормальной работы обязательной является процедура начальной выставки. В работе рассмотрены усовершенствованные алгоритмы начальной выставки таких систем, проводить которую предлагается в два этапа во время стоянки летательного аппарата. Особенность алгоритмов состоит в том,*

что начальная выставка происходит в земной экваториальной (гринвичской) системе координат, используемой навигационной системой в качестве базовой. Сначала осуществляется процедура «грубой» начальной выставки, выполняемой по параметрам ориентации методом векторного согласования на основании усредненных показаний инерциального измерительного блока за небольшой промежуток времени. Затем, следует прецизионная процедура «точной» начальной выставки, являющаяся разновидностью алгоритма комплексной навигационной системы. При этом происходит уточнение начальных параметров ориентации и навигации, а также оценка и коррекция систематических ошибок инерциальных датчиков.

**Ключевые слова:** бесплатформенная инерциальная навигационная система, начальная выставка, параметры ориентации, алгоритм векторного согласования, фильтр Калмана.

*Работа выполнена при финансовой поддержке в форме гранта РФФИ 19-08-00279а.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Челноков, Ю. Н. Кватернионный алгоритм начальной выставки БИНС с использованием метода регуляризации А. Н. Тихонова / Ю. Н. Челноков, А. В. Молоденков // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2021. – Т. 22. – № 4. – С. 217-224. – DOI 10.17587/mau.22.217-224. – EDN SHLTOD.
2. Emel'yantsev, G. I. Initial Alignment of SINS Measuring Unit and Estimation of Its Errors Using Satellite Phase Measurements / G. I. Emel'yantsev, A. P. Stepanov, B. A. Blazhnov // Gyroscopy and Navigation. – 2019. – Vol. 10. – No 2. – P. 62-69. – DOI 10.1134/S2075108719020032. – EDN FEULMA.
3. Дмитроченко Л. А. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы: Учеб. пособие [Текст] / Л. А. Дмитроченко, В. П. ГОРА, Г. Ф. Савинов. – М.: МАИ, 1984. – 63 с.
4. Андреев В.Д. Теория инерциальной навигации: Автономные системы [Текст]/ В.Д. Андреев. – Изд-во "Наука", Глав. ред. физико-математической литры. – 1966. – 579 с.
5. Челноков, Ю. Н. Кватернионные и бикватернионные модели и методы механики твердого тела и их приложения. Геометрия и кинематика движения [Текст] / Ю. Н. Челноков. – Москва: ООО Издательская фирма "Физико-математическая литература", 2006. – 512 с.
6. Афонин, А. А. Полный замкнуто-разомкнутый алгоритм бесплатформенного гравиинерциального комплекса / А. А. Афонин, А. С. Сулаков // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2013. – № 4. – С. 62-68.
7. Афонин, А. А. Алгоритм оценивания параметров гравитационного поля, ориентации и навигации бесплатформенного гравиинерциального комплекса / А. А. Афонин, А. С. Сулаков // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – № 9. – С. 58-65. – EDN MUCRDG.
8. Ривкин С. С. Статистическая оптимизация навигационных систем [Текст] / С. С. Ривкин, Р. И. Ивановский, А. В. Костров. – Ленинград: Судостроение, 1976. – 280 с.
9. Gao W. Research on initial precision alignment method of strapdown inertial navigation system/ W. Gao [et al.] // AIP Conference Proceedings. – 2019. – № 2122. – С. 020045-020055. – doi:10.1063/1.5116484.
10. Chang L. Strapdown inertial navigation system initial alignment based on modified process model/ L. Chang [et al.] // IEEE Sensors Journal. – 2019. – № 19(15). – С. 6381-6391. doi:10.1109/JSEN.2019.2910213.

#### **Афонин Александр Анатольевич**

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Пилотажно-навигационные и информационно-измерительные комплексы» Московского авиационного института (национального исследовательского университета); декан факультета «Робототехника и мехатроника» Московского финансово-промышленного университета «Синергия»; Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, 125993, E-mail: al\_aa@mail.ru

#### **Мамо М. Шико**

Аспирант кафедры «Пилотажно-навигационные и информационно-измерительные комплексы» Московского авиационного института (национального исследовательского университета); Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, 125993, E-mail: mhd.maamo@gmail.com

#### **Сулаков Андрей Сергеевич**

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая электротехника», Московского авиационного института (национального исследовательского университета); Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, 125993, E-mail: andrikman@gmail.com

#### **Шаповалов Никита Александрович**

Аспирант кафедры «Пилотажно-навигационные и информационно-измерительные комплексы» Московского авиационного института (национального исследовательского университета); Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, 125993, E-mail: shapovalov.nik777@gmail.com

# ABOUT SOME ISSUES IN THE DEVELOPMENT OF INITIAL ALIGNMENT ALGORITHM FOR STRAPDOWN INERTIAL NAVIGATION SYSTEM

**Abstract.** *Autonomous strapdown inertial navigation systems are per se one of the most used means to solve modern aircraft orientation and navigation problem. For their normal operation, the initial alignment procedure is mandatory. The paper proposes improved algorithms for the initial alignment of such systems, which are supposed to be carried out in two stages during aircraft parking. These algorithms use Earth equatorial (Greenwich) coordinate system, which is used by the navigation system as the base one. First, the “coarse” initial alignment procedure is carried out according to the vector matching method based on the average readings of the inertial measuring unit over a short period of time. Then the “precise” initial alignment procedure takes place, and it is in fact a kind of the integrated navigation system algorithm. The main privilege of these algorithms, as this paper shows, is that the initial orientation and navigation parameters are refined, as well as the assessment and correction of inertial sensors systematic errors.*

**Keywords:** *strapdown inertial navigation system, initial alignment, attitude parameters, vector matching algorithm, Kalman filter.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Chelnokov Yu. N., Molodenkov A. V. Kvaternionnyj algoritm nachal'noj vystavki BINS s ispol'zovaniem metoda reguljarizacii A. N. Tihonova/ Yu. N. Chelnokov, A. V. Molodenkov// Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie Journal. – 2021. – T. 22. – № 4. – С. 217-224. – DOI 10.17587/mau.22.217-224. – EDN SHLTOD.
2. Emel'yantsev G. I., Stepanov A. P. and Blazhnov B. A. Initial alignment of SINS measuring unit and estimation of its errors using satellite phase measurements/ G. I. Emel'yantsev, A. P. Stepanov, B. A. Blazhnov // Gyroscopy and Navigation. – 2019. – Vol. 10. – No 2. – P. 62-69. – DOI 10.1134/S2075108719020032. – EDN FEULMA.
3. Dmitrochenko L. A., Gora V. P., Savinov G. F. Besplatformennye inercial'nye navigacionnye sistemy. Moscow MAI publishing, 1984, 63 p.
4. Andreev V.D. Teorija inercial'noj navigacii: Avtonomnye sistemy. Nauka publishing, 1966, 579 p.
5. Chelnokov Yu. N. Kvaternionnye i bikvaternionnye modeli i metody mehaniki tverdogo tela i ih prilozhenija. Geometrija i kinematika dvizhenija. Moscow: Ltd. Publishing company "Physical and mathematical literature". – 2006. – 512 p.
6. Afonini A. A., Sulakov A. S. Polnyj zamkno-razomknyj algoritm besplatformennogo graviinercial'nogo kompleksa /A. A. Afonini, A. S. Sulakov// Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie Journal. – 2013. – (4): 62-68.
7. Afonini A. A., Sulakov A. S. Algoritm ocenivaniya parametrov gravitacionnogo polja, orientacii i navigacii besplatformennogo graviinercial'nogo kompleksa/A. A. Afonini, A. S. Sulakov// Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie Journal. – 2011. – (9). – 58-65.
8. Rivkin S. S., Ivanovsky R. I., Kostrov A. V. Statisticheskaja optimizacija navigacionnyh system. Leningrad: Shipbuilding. – 1976. – 280 p.
9. Gao, W. Research on initial precision alignment method of strapdown inertial navigation system/ W. Gao [et all.] // AIP Conference Proceedings. – 2019. – Vol. 2122 (1). – p. 020045.
10. Chang, L. Strapdown inertial navigation system initial alignment based on modified process model/ F.Qin, S.Jiang//. IEEE Sensors Journal. – 2019. – Vol 19(15). – pp.6381-6391. – doi:10.1109/JSEN.2019.2910213.

### **Afonin Alexander Anatolovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the “Department of Flight-Navigation and Information-Measurement Complexes” of Moscow Aviation Institute (National Research University); Dean of the Faculty “Robotics and Mechatronics” of the Moscow Financial and Industrial University “Synergy”; 125993, Moscow, Volokolamskoe shosse, 4; E-mail: al\_aa@mail.ru

### **Maamo M. Shikho**

Ph.D. student of the “Department of Flight-Navigation and Information-Measurement Complexes” of Moscow Aviation Institute (National Research University); 125993, Moscow, Volokolamskoe shosse, 4; E-mail: mhd.maamo@gmail.com

### **Sulakov Andrey Sergeevich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the “Department of Theoretical Electrical Engineering” of Moscow Aviation Institute (National Research University); 125993, Moscow, Volokolamskoe shosse, 4; E-mail: andrikman@gmail.com

### **Shapovalov Nikita Alexandrovich**

Ph.D. student of the “Department of Flight-Navigation and Information-Measurement Complexes” of Moscow Aviation Institute (National Research University); 125993, Moscow, Volokolamskoe shosse, 4; E-mail: shapovalov.nik777@gmail.com

В.И. КОРОЛЬ, М.В. ЛАНКИН, Н.И. ГОРБАТЕНКО

## РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗЛИЧИЯ МЕЖДУ АППРОКСИМИРОВАННЫМИ КРИВЫМИ

**Аннотация.** Статья посвящена выбору оптимальных параметров аппроксимации импульсов напряжения для нахождения различия между ними. Выбор производился на основе построенной регрессионной модели погрешности определения различия двух аппроксимированных импульсов напряжения, приложенного к намагничивающему постоянный магнит (ПМ) индуктору, от влияющих на эту погрешность факторов. В качестве влияющих факторов были выбраны: количество коэффициентов разложения Бесселя-Фурье и количество точек, используемое при построении аппроксимирующего выражения. Экспериментальные данные в виде кривых напряжения, приложенного к индуктору, получены в результате моделирования электрических процессов в среде Micro-Cap, статистическая обработка проводилась в среде Statistica с применением ортогонального центрально-композиционного плана. В результате исследования были получены уравнения регрессии для физических и кодированных значений и выбраны оптимальные параметры аппроксимации.

**Ключевые слова:** постоянный магнит, регрессионная модель, разложение Фурье-Бесселя, аппроксимация, импульс, факторы, функция, кривая, импульс, погрешность.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lankin A.M., Lankin M.V., Naugolnov O.A. Approximation of family basic magnetization curves of the magnetic electrical devices for the solution of inverse problems of the diagnostics // В сборнике: Procedia Engineering. – 2016. – С. 1020-1026.
2. Зубов В.И. Функции Бесселя // Учебно-методическое пособие. М.: МФТИ, 2007. – С. 40.
3. Корнев Б.Г. Введение в теорию бесселевых функций // М.: Наука, 1971. – 288 с.
4. Король В.И., Ланкин М.В., Ланкин А.М. Метод определения магнитных характеристик высококоэрцитивных постоянных магнитов с применением вейвлет-преобразования // Инженерный вестник Дона, 2021, № 6, URL: [http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_5\\_6\\_Korol\\_Lankin\\_Lankin.pdf](http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_5_6_Korol_Lankin_Lankin.pdf) 41e278648c.pdf
5. Gladkikh S., Lankin A. and Lankin I. Processing Method for Complex Characteristics of Electromagnetic Devices // 2022 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). – 2022. – pp. 670-674, doi: 9.1109/ICIEAM54945.2022.9787123.
6. Gladkikh S., Lankin A. and Naugolnov O. Complementary Assembly Method for Reducing Energy and Resource Consumption in the Production of Electromagnetic Drives // 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). – 2021. – pp. 876-880, doi: 10.1109/ICIEAM51226.2021.9446298.
7. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10 // Смоленск, Смоленский филиал НИУ МЭИ. – 2012. – 617 с.
8. Король В.И., Ланкин И.М. Аппроксимация зависимостей напряжения от времени методом разложения сигналов в ряды Бесселя-Фурье // Материалы Международной молодежной научно-практической конференции. Новочеркасск. – 2022. – С. 32-35.
9. Сидняев Н.И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных // М.: Юрайт. – 2019. – 49 с.
10. Макаричев Ю.А., Иванников Ю.Н. Методы планирования эксперимента и обработки данных // Самара, СГТУ, 2016. – 132 с.
11. Боровиков В.П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере // СПб.: Питер. – 2003. – 688 с.

**Король Валерий Иванович**  
ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова,  
г. Новочеркасск  
Аспирант, ассистент кафедры  
ИИСТ  
346428, Ростовская обл.,  
г. Новочеркасск, ул. Просвещения,  
132  
Тел. +7(928)760-32-83  
E-mail: corolvalera@yandex.ru

**Ланкин Михаил Владимирович**  
ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова,  
г. Новочеркасск  
Кандидат технических наук,  
доцент кафедры ИИСТ  
346428, Ростовская обл.,  
г. Новочеркасск, ул. Просвещения,  
132  
Тел. +7(918) 523-59-89  
E-mail: delete60@rambler.ru

**Горбатенко Николай Иванович**  
ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова,  
г. Новочеркасск  
Доктор технических наук,  
Заведующий кафедрой ИИСТ  
346428, Ростовская обл.,  
г. Новочеркасск, ул. Просвещения,  
132  
Тел. +7(863)525-52-40  
E-mail: iit@srstu.novoch.ru

V.I. KOROL, M.V. LANKIN, N.I. GORBATENKO

**REGRESSION MODEL OF THE ERROR IN DETERMINING  
THE DIFFERENCE BETWEEN THE APPROXIMATED CURVES**

**Abstract.** The article is devoted to the selection of optimal parameters for the approximation of voltage pulses to find the difference between them. The choice was made on the basis of the constructed regression model of the error in determining the difference between two approximated voltage pulses applied to a permanent magnet (PM) inductor from factors affecting this error. The following factors were selected as influencing factors: the number of coefficients of the Bessel-Fourier expansion and the number of points used in the construction of the approximating expression. Experimental data in the form of voltage curves applied to the inductor were obtained as a result of modeling electrical processes in the Micro-Cap environment, statistical processing was carried out in the Statistica environment using an orthogonal central composite plan. As a result of the study, regression equations for physical and coded values were obtained and optimal approximation parameters were selected.

**Keywords:** permanent magnet, regression model, Fourier-Bessel decomposition, approximation, momentum, factors, function, curve, momentum, error.

## BIBLIOGRAPHY

1. Lankin A.M., Lankin M.V., Naugolnov O.A. Approximation of family basic magnetization curves of the magnetic electrical devices for the solution of inverse problems of the diagnostics // V sbornike: Procedia Engineering. – 2016. – PP. 1020-1026.
2. Zubov V.I. Funkcii Besselya // Uchebno-metodicheskoe posobie. M.: MFTI, 2007. – P. 40.
3. Korenev B.G. Vvedenie v teoriyu besselevykh funkciy // M.: Nauka, 1971. – 288 p.
4. Korol' V.I., Lankin M.V., Lankin A.M. Metod opredeleniya magnitnykh harakteristik vysokokoercitivnykh postoyannykh magnitov s primeneniem vejvlet-preobrazovaniya // Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, № 6, URL: [http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_5\\_6\\_Korol\\_Lankin\\_Lankin.pdf\\_41e278648c.pdf](http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_5_6_Korol_Lankin_Lankin.pdf_41e278648c.pdf)
5. Gladkikh S., Lankin A. and Lankin I. Processing Method for Complex Characteristics of Electromagnetic Devices // 2022 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). – 2022. – pp. 670-674, doi: 9.1109/ICIEAM54945.2022.9787123.
6. Gladkikh S., Lankin A. and Naugolnov O. Complementary Assembly Method for Reducing Energy and Resource Consumption in the Production of Electromagnetic Drives // 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). – 2021. – pp. 876-880, doi: 10.1109/ICIEAM51226.2021.9446298.
7. Amelina M.A., Amelin S.A. Programma skhemitotekhnicheskogo modelirovaniya Micro-Cap. Versii 9, 10 // Smolensk, Smolenskij filial NIU MEI. – 2012. – 617 p.
8. Korol' V.I., Lankin I.M. Approksimaciya zavisimostej napryazheniya ot vremeni metodom razlozheniya signalov v ryady Besselya-Fur'e // Materialy Mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Novoherkassk. – 2022. – PP. 32-35.
9. Sidnyaev N.I. Teoriya planirovaniya eksperimenta i analiz statisticheskikh dannykh // M.: YUrajt. – 2019. – 49 p.
10. Makarichev YU.A., Ivannikov YU.N. Metody planirovaniya eksperimenta i obrabotki dannykh // Samara, SGTU, 2016. – 132 p.
11. Borovikov V.P. STATISTICA. Iskusstvo analiza dannykh na komp'yutere // SPB.: Piter. – 2003. – 688 p.

### **Korol Valery Ivanovich**

Platov South-Russian State Polytechnic University  
Postgraduate student, assistant at the Department «Information and measurement systems and technologies»  
346428, Rostov region, Novoherkassk, st. Enlightenment, 132  
Phone: +7(928)760-32-83  
E-mail: corolvalera@yandex.ru

### **Lankin Mikhail Vladimirovich**

Platov South-Russian State Polytechnic University  
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department «Information and measurement systems and technologies»  
346428, Rostov region, Novoherkassk, st. Enlightenment, 132  
Phone: +7(918) 523-59-89  
E-mail: delete60@rambler.ru

### **Gorbatenko Nikolay Ivanovich**

Platov South-Russian State Polytechnic University  
Doctor of Engineering Sciences, Head of the Department «Information and measurement systems and technologies»  
346428, Rostov region, Novoherkassk, st. Enlightenment, 132  
Phone: +7(863)525-52-40  
E-mail: iit@srstu.novoch.ru

© Король В.И., Ланкин М.В., Горбатенко Н.И., 2022

УДК 004.942

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-355-5-76-83

М.Ю. МИХЕЕВ, С.В. КОЛЕСНИКОВА, А.В. ПУШКАРЕВА, Т.Ю. МАМЕЛИНА

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА COVID-19, ОБНАРУЖЕННОГО НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

**Аннотация.** Пандемия респираторного синдрома-2 (SARS-CoV-2) - социальное явление, оказывающее разрушительное воздействие на здоровье и благополучие населения планеты. Для эффективного выявления и принятия решения о ходе лечения COVID - 19 требуется количественный и качественный анализ результатов эксперимента, который при достаточно большом количестве испытаний позволит построить прогностические оценки и получить на основе фундаментальных теорем теории вероятностей управляющие коэффициенты. Основным направлением в борьбе с COVID-19 является рентгенологическое исследование грудной клетки, на основе которого проводится поиск визуальных индикаторов, связанных с вирусной инфекцией SARS-CoV-2. Для более полного описания явления COVID-19 предложено представить развитие заболевания периодам, количественной оценкой которых является вероятность их появления. При решении рекомендовано рассмотреть композиции случайных величин, возможность использования различных законов их распределения, что дает более реально описать процесс развития заболевания.

При построении математической модели жизненного цикла COVID-19, обнаруженного на основе сверточной нейронной сети по данным рентгеновских снимков грудной клетки, была принята гипотеза о показательном законе распределения случайных величин. Предложенное исследование развития COVID-19 позволило получить количественную информацию по периодам развития заболевания, основываясь на анализе вероятностей и плотностей вероятностей нахождения в различных стадиях заболевания и их переходов.

Дополнительные количественные оценки позволяют оптимизировать процесс лечения, повысить эффективность управления лечебными учреждениями, финансовыми поступлениями.

**Ключевые слова:** COVID-19, скрининг, рентгенограмма грудной клетки, COVID-Net, функция плотности вероятности, функция распределения, законы распределения случайной величины, нейронная сеть, сверточная нейронная сеть.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубков, А.Ф., Назарова Н.В., Колгушкина Г.С. Моделирование интеллектуальной деятельности в системе медико-технического образования/ Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. - № 3. – с. 77-79.
2. Wang, W. et al. Detection of SARS-CoV-2 in different types of clinical specimens. JAMA (2020).
3. Ai, T. et al. Correlation of chest CT and RT-PCR testing in coronavirus disease 2019 (COVID-19) in china: A report of 1014 cases. Radiology 200642 (2020).
4. Yang, Y. et al. Evaluating the accuracy of different respiratory specimens in the laboratory diagnosis and monitoring the viral shedding of 2019-ncov infections. medRxiv:2020.02.11.20021493.
5. Wikramaratna, P., Paton, R. S., Ghafari, M. & Lourenco, J. Estimating false-negative detection rate of sars-cov-2 by rt-pcr. medRxiv:2020.04.05.20053355 (2020).
6. Ng, M.-Y. et al. Imaging profile of the COVID-19 infection: Radiologic findings and literature review. Radiol. Cardiothorac. Imaging 2 (2020).
7. Adam Jacobi, A. B., Michael Chung & Eber, C. Portable chest x-ray in coronavirus disease-19 (covid-19): A pictorial review. Clin. Imaging (2020).
8. Rubin, G. D. et al. The role of chest imaging in patient management during the COVID-19 pandemic: A multinational consensus statement from the fleischner society. Radiology (2020).
9. Wong, A. Netscore: Towards universal metrics for large-scale performance analysis of deep neural networks for practical usage. CoRR abs/1806.05512 (2018). 1806.05512.
10. Huang, G., Liu, Z. & Weinberger, K. Q. Densely connected convolutional networks. arXiv preprint arXiv:1608.06993 (2016).
11. Lin, Z. Q. et al. Do explanations reflect decisions? a machine-centric strategy to quantify the performance of explainability algorithms. arXiv preprint arXiv:1910.07387 (2019).
12. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Учебник – М.: Кнорус, 2018.
13. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для вузов – Москва: Издательство Юрайт, 2020. -479 с.
14. Ляпунов, А.А. Вопросы теории множеств и теории функций. – М.: Наука, 1979. -264 с.
15. Сверточные нейронные сети /Христофоров Р.П., Шиганова М.В., Романова Н.А., Гусев И.В., Гусев В.В.// Вестник современных исследований. 2019. № 1.8 (28). С. 189-190.
16. Оценка альтернатив при периодических изменениях вероятностей перехода/ Шорникова Т.А., Гусынина Ю.С.// XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2018. Т. 7. № 3 (43). С. 46-48.
17. Метод выбора плотности распределения случайной величины оценки действительного значения результата измерения на основе принципа максимума энтропии / Свистунов Б.Л., Зубков А.Ф., Гусынина Ю.С.// Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2019. № 1 (27). С. 95-102. DOI 10.21685/2307-5538-2019-1-13



18. Кодолов, И.М., Худяков, С.Т. Теоретические основы вероятностных методов в инженерно-экономических задачах: случайные события и случайные величины. – М.: МАДИ, 1989. – 197 с.
19. Shi, F. et al. Large-scale screening of covid-19 from community acquired pneumonia using infection size-aware classification. arXiv:2003.09860 (2020).
20. Wang, X. et al. Chestx-ray8: Hospital-scale chest x-ray database and benchmarks on weakly-supervised classification and localization of common thorax diseases. In 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR), 3462–3471 (2017).

**Михеев Михаил Юрьевич**

ФГБОУ ВО «ПензГТУ», г. Пенза  
доктор технических наук, профессор  
каф. «Информационные технологии и системы»  
440039 пр-д Байдукова, 1А, Пенза  
Тел: 8-906-395-95-87  
E-mail:mix@penzgtu.ru

**Колесникова Светлана Николаевна**

ФГБОУ ВО «ПензГТУ», г. Пенза  
кандидат экономических наук, доцент  
каф. «Прикладная информатика»  
440039 пр-д Байдукова, 1А, Пенза  
Тел: 8-927-363-47-03  
E-mail:kolesnikova.lana@inbox.ru

**Пушкарева Анастасия Валерьевна**

ФГБОУ ВО «ПензГТУ», г. Пенза  
кандидат технических наук, доцент  
каф. «Биомедицинская инженерия»  
440039 пр-д Байдукова, 1А, Пенза  
Тел: 8-905-016-07-39  
E-mail:a.v.push89@gmail.com

**Мамелина Татьяна Юрьевна**

ФГБОУ ВО «ПензГТУ», г. Пенза  
кандидат биологических наук, доцент  
каф. «Биотехнологии и техносферная безопасность»  
440039 пр-д Байдукова, 1А, Пенза  
Тел: 8-927-373-84-55  
E-mail:tmamelina@yandex.ru

---

M.Y. MIKHEEV, S.V. KOLESNIKOVA, A.V. PUSHKAREVA, T.Y. MAMELINA

## MATHEMATICAL MODELING OF COVID-19 LIFE CYCLE DETECTED ON THE BASIS OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

**Abstract.** *The respiratory syndrome-2 (SARS-CoV-2) pandemic is a social phenomenon affecting the health and well-being of the world's population. To calculate the calculation and decide on the course of treatment for COVID-19, a quantitative and qualitative analysis of the results of the experiment is required, which, in a sufficiently large number of cases, allows us to build prognostic estimates and obtain control coefficients based on the basic principles of probability theory.*

*The main focus in the fight against COVID-19 is chest x-ray, which is based on the search for visual indicators associated with SARS-CoV-2 viral infection. For a more complete description of the COVID-19 phenomenon, it is proposed to present the development of the disease to periods, the quantitative assessment of which is the probability of their occurrence. When deciding, it is recommended to consider the composition of random variables, the possibility of using different laws of their distribution, which makes it possible to more realistically describe the process of disease development.*

*When constructing a mathematical model of the life cycle of COVID-19, detected on the basis of a convolutional neural network based on chest x-ray data, the hypothesis of an exponential distribution of random variables was adopted. The proposed study of the development of COVID-19 made it possible to obtain quantitative information on the periods of development of the disease, based on the analysis of the probabilities and probability densities of being in various stages of the disease and their transitions.*

*Additional quantitative assessments allow optimizing the treatment process, increasing the efficiency of managing medical institutions and financial receipts.*

**Keywords:** *COVID-19, chest X ray, COVID-Net, distribution of random variables, probability density function, lung damage, convolutional neural network.*

### BIBLIOGRAPHY

1. A.F. Zubkov, N.V. Nazarova, G. S. Kolgushkina, “Modeling of intellectual activities in the system of medical and technical education”, 2007: Mechatronics, automation, management.. 2007; Vol 3, pp. 77-79.
2. W. Wang, et al. “Detection of SARS-CoV-2 in different types of clinical specimens”, 2020 JAMA323(18), 1843–1844 (2020).
3. T. Ai, et al. “Correlation of chest CT and RT-PCR testing in coronavirus disease”, 2019 (COVID-19) in china: A report of 1014 cases 2020. Radiology 200642.

4. Y. Yang, et al. "Evaluating the accuracy of different respiratory specimens in the laboratory diagnosis and monitoring the viral shedding of 2019-ncov infections", 2020 medRxiv 2020, 20021493.
5. P. Wikramaratna, R.Paton, M, Ghafari, J. Lourenco, "Estimating false-negative detection rate of sars-cov-2 by rt-pcr", 2020 medRxiv:2020.04.05.20053355 (2020).
6. M.-Y. Ng, et al. "Imaging profile of the COVID-19 infection", 2020 Radiologic findings and literature review. Radiol. Cardiothorac. Imaging 2 (2020).
7. A. Jacobi, M. Chung, A. Bernheim, C. Eber "Portable chest x-ray in coronavirus disease-19 (COVID-19)": a pictorial review. Clin Imaging 2020;64:35–42.
8. G. Rubin, et al. "The role of chest imaging in patient management during the COVID-19 pandemic: A multinational consensus statement from the fleischner society". Radiology (2020).
9. A. Wong, A. Netscore "Towards universal metrics for large-scale performance analysis of deep neural networks for practical usage". CoRR abs/1806.05512 (2018). 1806.05512.
10. G. Huang, Z. Liu & K. Weinberger, "Densely connected convolutional networks", 2016 arXiv preprint arXiv:1608.06993 (2016).
11. Z. Lin et al. "Do explanations reflect decisions? a machine-centric strategy to quantify the performance of explainability algorithms", 2019 arXiv preprint arXiv:1910.07387 (2019).
12. E.S. Ventzel, *Probability theory*. M.: Knorus, 2018.
13. V.E. Gmurman *Probability theory and mathematical statistics*. Moscow: Publishing House Yurite, 2020, pp. 479
14. A.A. Lyapunov, *Questions of set theory and function theory*, M.: Science, 1979.
15. R. Khristoforov et al. "Convolutional neural networks", 2019 Bulletin of modern research. 2019. Vol.1.8 (28) pp.189-190.
16. T. Shornikov, Y. Gusynina "Evaluation of alternatives for periodic changes in transition probabilities XXI century: the results of the past and the problems of the present plus", 2018. Vol. 7. № 3 (43). pp. 46-48.
17. B. Svistunov, A. Zubkov, Y. Gusynina "Method for selecting the distribution density of a random value for estimating the actual value of the measurement result based on the principle of entropy maximum", 2019 Measurement. Monitoring. Management. Control. 2019. № 1 (27). pp. 95-102.
18. I. Kodolov, S. Khudyakov *Theoretical foundations of probabilistic methods in engineering and economic problems: random events and random variables.* - M.: MADI, 1989.
19. Shi, F. et al. "Large-scale screening of covid-19 from community acquired pneumonia using infection size-aware classification", 2020 arXiv:2003.09860 (2020).
20. X. Wang "Chestx-ray8: Hospital-scale chest x-ray database and benchmarks on weakly-supervised classification and localization of common thorax diseases" In 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2017, pp.3462–3471.

**Mikheev Mikhail Yurievich**

Penza state technological university, Penza  
doctor of technical sciences, professor  
"Information technologies and systems" department  
440039 pr-d Baidukova, 1A, Penza  
Phone: 8-906-395-95-87  
E-mail: mix@penzgtu.ru

**Pushkareva Anastasia Valerevna**

Penza state technological university, Penza  
candidate of technical sciences, associate professor  
"Biomedical engineering" department  
440039 pr-d Baidukova, 1A, Penza  
Phone: 8-905-016-07-39  
E-mail: a.v.push89@gmail.com

**Kolesnikova Svetlana Nikolaevna**

Penza state technological university, Penza  
candidate of economic sciences, associate professor  
"Information technologies and systems" department  
440039 pr-d Baidukova, 1A, Penza  
Phone: 8-927-363-47-03  
E-mail: kolesnikova.lana@inbox.ru

**Mamelina Tatyana Yuryevna**

Penza state technological university, Penza  
candidate of biological sciences, associate professor  
"Biotechnology and technosphere safety" department  
440039 pr-d Baidukova, 1A, Penza  
Phone: 8-927-373-84-55  
E-mail: tmamelina@yandex.ru

© Михеев М.Ю., Колесникова С.В., Пушкарева А.В., Мамелина Т.Ю., 2022

УДК 621.396.93:681.518.3

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-355-5-84-88

С.Ч. НГУЕН, А.В. ОВЧИННИКОВ

**АЛГОРИТМ И СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ ФАЗОВОЙ  
СИНХРОНИЗАЦИИ ГЕНЕРАТОРОВ С ЛЧМ СИГНАЛОМ**

**Аннотация.** Предложен метод фазовой синхронизации с использованием зондирующего сигнала с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ). Рассчитаны соотношения сигнал-шум на выходе согласованного фильтра приемника ЛЧМ сигнала и установлено влияние его на точность измерения фазы. Разработаны алгоритм и структурная схема системы фазовой синхронизации, реализующей предложенный метод.

**Ключевые слова:** ЛЧМ сигнал, фазовая синхронизация, система мониторинга.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Younis, M.; Metzgi, R.; Krieger, G. Performance Prediction of a Phase Synchronization Link for Bistatic SAR. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* 2006, 3, 429–433.
2. Малинников В.А., Стеценко А.Ф., Алтынов А.Е., Попов С.М. Мониторинг природной среды аэрокосмическими средствами. Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Изд. МИИГАиК. 2008 г., 145 с.
3. Krieger, G.; Zink, M.; Bachmann, M.; Benjamin, B.; Daniel, S.; Michele, M.; Paola, R.; Ulrich, S.; John Walter, A.; Francesco, D.Z. TanDEM-X: A Radar Interferometer with Two Formation Flying Satellites. *Acta Astronaut.* 2013, 89, 83–98.
4. Chen S. et al.: Focusing of tandem bistatic SAR data using the chirp-scaling algorithm // *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing.* 2013, № 1, P. 1 - 13.
5. Wang W.- O. Measurement of Baseline and Orientation between Distributed Aerospace Platforms. *Hindawi Publishing Corporation The ScientificWorld Journal Volume 2013, Article ID 985601.*
6. Krieger, G.; Moreira, A. Spaceborne bi- and multistatic SAR: Potential and challenges. *IET Radar Sonar Navig.* 2006, 153, 184–198.
7. R. Metzgi, M. Younis, M. Zink, and M. Werner, “TanDEM-X requirements on TerraSAR-X instrument on-ground tests,” German Aerospace Center, Microwaves and Radar Institute, Tech. Note TX-SECTN-4206, Oct. 2005.
8. Juan Carlos Merlano Duncan, «Phase Synchronization Scheme for Very Long Baseline Coherent Arrays», 2012. 197 с.
9. Пестряков В.Б. Фазовые радиотехнические системы. Издательство «Советское радио». Москва, 1968. 469 стр.
10. Космические системы ДЗЗ. Режим доступа: [http://www.ntsomz.ru/ks\\_dzz/satellites/resurs\\_p](http://www.ntsomz.ru/ks_dzz/satellites/resurs_p) (дата обращения 23.06.2022 г.).

**Нгуен Суан Чьонг**  
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула  
Аспирант кафедры Радиоэлектроника  
Тел. +79539737724  
E-mail: xuantruong19@hotmail.com.vn

**Овчинников Александр Викторович**  
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула  
Кандидат технических наук, доцент кафедры  
Радиоэлектроника  
Тел. +79066252542

---

X.TR. NGUYEN, A.V. OVCHINNIKOV

## ALGORITHM AND STRUCTURAL DIAGRAM OF THE PHASE SYNCHRONIZATION SYSTEM OF GENERATORS WITH LFM SIGNAL

**Abstract.** A method of phase synchronization using a probing signal with linear frequency modulation (LFM) is proposed. The signal-to-noise ratio at the output of the matched filter of the LFM signal receiver is calculated and its influence on the accuracy of the phase measurement is established. An algorithm and a block diagram of the phase synchronization system that implements the proposed method have been developed.

**Keywords:** LFM signal, phase synchronization, monitoring system.

## BIBLIOGRAPHY

1. Younis, M.; Metzgi, R.; Krieger, G. Performance Prediction of a Phase Synchronization Link for Bistatic SAR. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* 2006, 3, 429–433.
2. Malinnikov V.A., Stetsenko A.F., Altynov A.E., Popov S.M. Monitoring of the natural environment by aerospace means. Textbook for university students. – М.: Ed. MIIGAiK. 2008, 145 p.
3. Krieger, G.; Zink, M.; Bachmann, M.; Benjamin, B.; Daniel, S.; Michele, M.; Paola, R.; Ulrich, S.; John Walter, A.; Francesco, D.Z. TanDEM-X: A Radar Interferometer with Two Formation Flying Satellites. *Acta Astronaut.* 2013, 89, 83–98.
4. Chen S. et al.: Focusing of tandem bistatic SAR data using the chirp-scaling algorithm // *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing.* 2013, № 1, P. 1 - 13.
5. Wang W.- O. Measurement of Baseline and Orientation between Distributed Aerospace Platforms. *Hindawi Publishing Corporation The ScientificWorld Journal Volume 2013, Article ID 985601.*
6. Krieger, G.; Moreira, A. Spaceborne bi- and multistatic SAR: Potential and challenges. *IET Radar Sonar Navig.* 2006, 153, 184–198.
7. R. Metzgi, M. Younis, M. Zink, and M. Werner, “TanDEM-X requirements on TerraSAR-X instrument on-ground tests,” German Aerospace Center, Microwaves and Radar Institute, Tech. Note TX-SECTN-4206, Oct. 2005.
8. Juan Carlos Merlano Duncan, «Phase Synchronization Scheme for Very Long Baseline Coherent Arrays», 2012. 197 с.
9. Pestryakov V.B. Phase radio engineering systems. Publishing house "Soviet radio". Mokva, 1968. 469 p.

10. Space remote sensing systems. Access mode: [http://www.ntsomz.ru/ks\\_dzz/satellites/resurs\\_p](http://www.ntsomz.ru/ks_dzz/satellites/resurs_p) (Accessed 06/23/2022).

**Nguyen Xuan Truong**  
Tula State University, Tula  
Postgraduate student of the Radioelectronics Department  
Тел. +79539737724  
E-mail: xuantruong19@hotmail.com.vn

**Ovchinnikov Aleksandr Viktorovich**  
Tula State University, Tula  
Ph.D., Associate Professor of the Radioelectronics  
Department  
Тел. +79066252542

© Нгуен С.Ч., Овчинников А.В., 2022

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

УДК 005.62

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-355-5-89-98

О.В. АНИКЕЕВА, А.А. ЖИЛЯЕВ, А.Г. ИВАХНЕНКО,  
О.В. ИСЛАМОВА, В.Н. КОЗЛОВСКИЙ

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ IDEF0 ДЛЯ РАСЧЁТА РИСКОВ**

**Аннотация.** В работе изучена проблема использования методологии IDEF0 для расчетов рисков. Разработан подход к использованию функциональной модели IDEF0 при расчете рисков для сети взаимосвязанных и взаимодействующих процессов, основанный на комплексном анализе сети процессов предприятия с целью преобразования связей «вход», «управление», «выход», «механизм» в систему уравнений вероятностей. Изучены особенности применения данного подхода, связанные с наличием обратных связей между блоками IDEF0 диаграммы процесса. Предложенный подход развит на примере обобщенной IDEF0-модели деятельности предприятия. Получены результаты экспериментального исследования разработанного подхода, подтверждающие его применимость в сфере целевого управления в области качества предприятия. Созданный подход является инструментом для поддержки формирования экспертной оценки вероятностей несоответствий при расчете рисков. Предложенные разработки могут быть полезны как для предприятий, осуществляющих выпуск продукции, так и для научных работников, изучающих проблемы, связанные с расчетом рисков.

**Ключевые слова:** риск, функциональное моделирование, событие, вероятность.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ГОСТ Р 58771-2019. Менеджмент риска. Технологии оценки риска. – М.: Госстандарт России, 2020. – 85 с.
2. РД IDEF0-2000. Методология функционального моделирования IDEF0. Руководящий документ. – М.: Госстандарт России, 2000. – 75 с.
3. Kusiak A., Larson N. System Reliability and Risk Assessment: A Quantitative Extension of IDEF Methodologies. In AAAI Technical Report SS-94-04. pp. 88-93.
4. Сафонова Ю.А. Создание модели управления качеством многошаговых технологических процессов / Ю.А. Сафонова, М.Н. Ивлиев, Д.А. Никулин, О.А. Белгородцева // Фундаментальные исследования. – 2017, № 8. – С. 314-319.
5. Larson N., Kusiak A. System Reliability Methods for Analysis of Process Models. Integrated Computer-Aided Engineering, vol. 3, no. 4, pp. 279-290, 1996.
6. Kusiak A., Zakarian A. Risk assessment of process models. Computers & Industrial Engineering, Volume 30, Issue 4, 1996, pp. 599-610.
7. Кремер, Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник и практикум для вузов / Н. Ш. Кремер. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 538 с.
8. Васильева И.П. Причинно-следственный анализ стандартизации систем менеджмента качества организаций / Ю.С. Клочков, М.А. Вишняков, И.П. Васильева, Е.В. Еськина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2016. - Т.18, №4. - С.49-52.
9. Анিকেева О.В. Управление качеством продукции, процессов, услуг: учебное пособие / О.В. Анিকেева, О.Ю. Еренков, А.Г. Ивахненко, М.Л. Сторублев – Курск, 2016. – 426 с.
10. Ивахненко А.Г. Моделирование систем качества / А.Г. Ивахненко, М.Л. Сторублев – Курск, 2012. – 167 с.

**Аникеева Олеся Владимировна**  
ФГБОУ ВО «Юго-Западный  
государственный университет», г.  
Курск

**Жиляев Алан Арсенович**  
ФГБОУ ВО «Кабардино-  
Балкарский государственный  
университет им. Х.М.  
Бербекова», г. Нальчик

**Ивахненко Александр Геннадьевич**  
ФГБОУ ВО «Юго-Западный  
государственный университет», г.  
Курск

Канд. техн. наук, доцент, доцент  
кафедры ДиИМ  
305040, г. Курск, ул. 50 лет  
Октября, 94  
Тел. 8-952-496-46-18  
E-mail: olesya-anikeeva@yandex.ru

Зам. директора по учебной  
работе и качеству  
образования, ст.  
преподаватель кафедры УК  
360004, Кабардино-  
Балкарская Республика,  
г. Нальчик, ул.  
Чернышевского, 173  
Тел. 8-929-885-44-17  
E-mail:  
alan.zhilyaev@gmail.com

Д-р. техн. наук, профессор,  
профессор кафедры МТиО  
305040, г. Курск, ул. 50 лет  
Октября, 94  
Тел. 8-960-676-15-90  
E-mail: ivakhnenko2002@mail.ru

**Исламова Оксана Владимировна**  
ФГБОУ ВО «Кабардино-  
Балкарский государственный  
университет им. Х.М. Бербекова»,  
г. Нальчик  
Канд. техн. наук, доцент, доцент  
кафедры УК  
360004, Кабардино-Балкарская  
Республика, г. Нальчик, ул.  
Чернышевского, 173  
Тел. 8-960-424-48-78  
E-mail: islamova\_81@mail.ru

**Козловский Владимир Николаевич**  
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический  
университет», г. Самара  
Д-р. техн. наук, профессор, зав. кафедрой ТиОЭ  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244  
Тел. 8-846-278-44-60  
E-mail: kozlovskiy-76@mail.ru

---

O.V. ANIKEEVA, A.A. ZHILYAEV, A.G. IVAKHNENKO,  
O.V. ISLAMOVA, V.N. KOZLOVSKY

## USING THE IDEF0 FUNCTIONAL MODEL TO CALCULATE RISKS

**Abstract.** *The paper examines the problem of using the IDEF0 methodology for risk calculations. An approach to the use of the IDEF0 functional model in calculating risks for a network of interconnected and interacting processes has been developed, based on a comprehensive analysis of the enterprise process network in order to transform the "input", "management", "output", "mechanism" relationships into a system of probability equations. The features of the application of this approach related to the presence of feedbacks between the blocks of the IDEF0 process diagram are studied. The proposed approach is developed on the example of a generalized IDEF0-model of enterprise activity. The results of an experimental study of the developed approach have been obtained, confirming its applicability in the field of target management in the field of enterprise quality. The created approach is a tool to support the formation of an expert assessment of the probabilities of inconsistencies in the calculation of risks. The proposed developments can be useful both for enterprises engaged in the production of products and for researchers studying problems related to the calculation of risks.*

**Keywords:** *risk, functional modeling, event, probability.*

## BIBLIOGRAPHY

1. GOST R 58771-2019. Menedzhment riska. Tekhnologii ocenki riska. – М.: Gosstandart Rossii, 2020. – 85 s.
2. RD IDEF0-2000. Metodologiya funktsional'nogo modelirovaniya IDEF0. Rukovodnyashchij dokument. – М.: Gosstandart Rossii, 2000. – 75 s.
3. Kusiak A., Larson N. System Reliability and Risk Assessment: A Quantitative Extension of IDEF Methodologies. In AAAI Technical Report SS-94-04. pp. 88-93.
4. Safonova Yu.A. Sozdanie modeli upravleniya kachestvom mnogoshagovykh tekhnologicheskikh processov / YU.A. Safonova, M.N. Ivliev, D.A. Nikulin, O.A. Belgorodceva // Fundamental'nye issledovaniya. – 2017, № 8. – S. 314-319.
5. Larson N., Kusiak A. System Reliability Methods for Analysis of Process Models. Integrated Computer-Aided Engineering, vol. 3, no. 4, pp. 279-290, 1996.
6. Kusiak A., Zakarian A. Risk assessment of process models. Computers & Industrial Engineering, Volume 30, Issue 4, 1996, pp. 599-610.
7. Kremer, N.SH. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika: uchebnik i praktikum dlya vuzov / N. SH. Kremer. – 5-e izd., pererab. i dop. – Moskva: Izdatel'stvo YUrajt, 2022. – 538 s.
8. Vasil'eva I.P. Prichinno-sledstvennyj analiz standartizacii sistem menedzhmenta kachestva organizacij / YU.S. Klochkov, M.A. Vishnyakov, I.P. Vasil'eva, E.V. Es'kina // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. - 2016. - T.18, №4. - S.49-52.
9. Anikeeva O.V. Upravlenie kachestvom produkcii, processov, uslug: uchebnoe posobie / O.V. Anikeeva, O.YU. Erenkov, A.G. Ivahnenko, M.L. Storubev – Kursk, 2016. – 426 s.
10. Ivahnenko A.G. Modelirovanie sistem kachestva / A.G. Ivahnenko, M.L. Storubev – Kursk, 2012. – 167 s.

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

Kabardino-Balkarian State  
University H.M. Berbekova,  
Nalchik  
Deputy Director for Academic  
Affairs and Quality of Education,  
senior lecturer of the Department  
of the QM  
360004, Kabardino-Balkarian  
Republic, Nalchik, Chernyshevsky  
str., 173  
Tel. 8-929-885-44-17  
E-mail: alan.zhilyaev@gmail.com

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

**Islamova Oksana Vladimirovna**  
Kabardino-Balkarian State  
University H.M. Berbekova, Nalchik  
Candidate of Science Engineering,  
Associate Professor, Associate  
Professor of the department QM  
360004, Kabardino-Balkarian  
Republic, Nalchik, Chernyshevsky  
str., 173  
Tel. 8-960-424-48-78  
E-mail: islamova\_81@mail.ru

**Kozlovsky Vladimir Nikolaevich**  
Samara State Technical  
University, Samara  
Doctor of Sciences Engineering,  
Professor, Head of the  
Department of the T&GEE  
443100, Samara,  
Molodogvardeyskaya str., 244  
Tel. 8-846-278-44-60  
E-mail: kozlovskiy-76@mail.ru

© Анিকেева О.В., Жилиев А.А., Ивахненко А.Г., Исламова О.В., Козловский В.Н., 2022

УДК 531.74.082.4

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-355-5-99-108

А.И. НЕЗНАНОВ, К.В. ПОДМАСТЕРЬЕВ, О.А. СУСЛОВ

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ВОЛНООБРАЗНЫХ НЕРОВНОСТЕЙ ПРИ КОНТРОЛЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ С ПОМОЩЬЮ ДАТЧИКА УГЛА, УСТАНОВЛЕННОГО НА ТЕЛЕЖКЕ ВАГОНА

**Аннотация.** Рассмотрены амплитудные и фазовые характеристики хордовых и бесхордовых систем измерения волнообразных неровностей железнодорожного пути в продольном профиле при контроле его состояния. Предложен способ улучшения указанных характеристик с помощью корректирующих функций, для которых получены соответствующие математические выражения. Показана возможность достижения большей точности измерения амплитуды и места расположения волнообразной неровности пути с помощью бесхордовой системы на основе тележки грузового вагона и микромеханического датчика угла по сравнению с хордовой системой измерения.

**Ключевые слова:** железнодорожный путь, неровность пути, бесхордовая система измерения, амплитудная характеристика, фазовая характеристика, датчик угла.

*«Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, НТУ «Сириус», ОАО «РЖД» и Образовательного Фонда «Талант и успех» в рамках научного проекта № 20-38-51018»*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Необходимые дополнения к системе оценки геометрии рельсовой колеи / В. О. Певзнер [и др.] // Вопросы развития железнодорожного транспорта: сб. тр. ученых АО «ВНИИЖТ» / под ред. М. М. Железнова, Г. В. Гогричиани. М.: РАС, 2017. С. 199 – 202.
- 2 Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути (утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 14 ноября 2016 г. N 2288р) (с изменениями и дополнениями).
- 3 Инструкция по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов (утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 28 февраля 2020 г. № 436/р).
- 4 CEN "EN 13848-1:2019 Railway applications - Track - Track geometry quality - Part 1: Characterization of track geometry", European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2019.

5 Певзнер, В.О. Совершенствование нормативных документов по оценке состояния пути при скоростном движении / В.О. Певзнер, О.Ю. Белоцветова, К.В. Шапетько // Путь и путевое хозяйство. 2014. №12. С. 2-6.

6 Петуховский С.В. Расчет кривизны рельсовой нити по стрелам несимметричной измерительной хорды // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2018. Т. 15. № 1. С. 82-89.

7 Ágh, C. (2019). Comparative Analysis of Axlebox Accelerations in Correlation with Track Geometry Irregularities. Acta Technica Jaurinensis, 12(2), pp. 161–177. <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.v12.n2.501>.

8 Незнанов А.И. Бесхордовые методы измерения вертикальных неровностей железнодорожного пути / А.И. Незнанов, К.В. Подмастерьев, О.А. Суслов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2022. №3. С. 179-185.

9 Путевые машины: Учебник / М.В. Попович, В.М. Бугаенко, Б.Г. Волковойнов и др.; Под ред. М.В. Поповича, В.М. Бугаенко. — М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. — 820 с.

10 Тележка 18-100 - описание, характеристики [Электронный ресурс]. URL: [http://www.trportal.ru/clause\\_27.htm](http://www.trportal.ru/clause_27.htm). (Дата обращения: 5.08.2022).

**Незнанов Александр Иванович**  
ФГБОУ ВО Орловский  
государственный университет  
имени И.С. Тургенева  
К.т.н., старший преподаватель  
кафедры приборостроения,  
метрологии и сертификации  
302020, Орел, Наугорское шоссе,  
29  
Тел. 8(960)641-45-92

**Подмастерьев Константин Валентинович**  
ФГБОУ ВО Орловский  
государственный университет имени  
И.С. Тургенева  
Д.т.н., профессор, директор института  
приборостроения, автоматизации и  
информационных технологий  
302020, Орел, Наугорское шоссе, 29  
Тел. 8(961)620-55-50

**Суслов Олег Александрович**  
АО "Научно-  
исследовательский институт  
железнодорожного  
транспорта"  
Д.т.н., технический эксперт  
Научного центра «Рельсы,  
сварка, транспортное  
материаловедение»  
г. Москва, ул. 3-я  
Мытищинская, д.10

---

A.I. NEZNANOV, K.V. PODMASTEREV, O.A. SUSLOV

## **ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF MEASURING WAVE-LIKE RAILWAY TRACK IRREGULARITIES WITH CONTROL METHOD USING AN ANGLE SENSOR INSTALLED ON A WAGON BOGIE**

**Abstract.** *The amplitude and phase characteristics of chordal and chordless systems for measuring undulating irregularities of a railway track in a longitudinal profile while monitoring its condition are considered. A method is proposed for improving these characteristics using corrective functions, for which the corresponding mathematical expressions are obtained. The possibility of achieving greater accuracy in measuring the amplitude and location of the undulating track roughness using a chordless system based on a freight car bogie and a micromechanical angle sensor compared to a chordal measuring system is shown.*

**Keywords:** *railway track, track roughness, chordless measurement system, amplitude characteristic, phase characteristic, angle sensor.*

### **BIBLIOGRAPHY**

1 Neobhodimye dopolneniya k sisteme ocenki geometrii rel'sovoj kolei / V. O. Pevzner [i dr.] // Voprosy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta: sb. tr. uchenyh AO «VNIIZHT» / pod red. M. M. ZHeleznova, G. V. Gogrichiani. M.: RAS, 2017. S. 199 – 202.

2 Instrukciya po tekushchemu sodержaniyu zheleznodorozhnogo puti (utv. rasporyazheniem OAO "RZHD" ot 14 noyabrya 2016 g. N 2288r) (s izmeneniyami i dopolneniyami).

3 Instrukciya po ocenke sostoyaniya rel'sovoj kolei puteizmeritel'nymi sredstvami i meram po obespecheniyu bezopasnosti dvizheniya poezdov (utv. rasporyazheniem OAO "RZHD" ot 28 fevralya 2020 g. № 436/r).

4 CEN "EN 13848-1:2019 Railway applications - Track - Track geometry quality - Part 1: Characterization of track geometry", European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2019.

5 Pevzner, V.O. Sovershenstvovanie normativnyh dokumentov po ocenke sostoyaniya puti pri skorostnom dvizhenii / V.O. Pevzner, O.YU. Belocvetova, K.V. SHapet'ko // Put' i putevoe hozyajstvo. 2014. №12. S. 2-6.

6 Petuhovskij S.V. Raschet krivizny rel'sovoj niti po strelam nesimmetrichnoj izmeritel'noj hordy // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya. 2018. T. 15. № 1. S. 82-89.

7 Ágh, C. (2019). Comparative Analysis of Axlebox Accelerations in Correlation with Track Geometry Irregularities. Acta Technica Jaurinensis, 12(2), pp. 161–177. <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.v12.n2.501>.

8 Neznanov A.I. Beskhordovye metody izmereniya vertikal'nyh nerovnostej zheleznodorozhnogo puti / A.I. Neznanov, K.V. Podmaster'ev, O.A. Suslov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. 2022. №3. S. 179-185.

9 Putevye mashiny: Uchebnik / M.V. Popovich, V.M. Bugaenko, B.G. Volkovojnov i dr.; Pod red. M.V. Popovicha, V.M. Bugaenko. — M.: GOU «Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte», 2009. — 820 s.

10 Telezhka 18-100 - opisaniye, harakteristiki [Elektronnyj resurs]. URL: [http://www.trportal.ru/clause\\_27.htm](http://www.trportal.ru/clause_27.htm). (Data obrashcheniya: 5.08.2022).

**Neznanov Alexander Ivanovich**  
Oryol State University named  
after I.S. Turgenev  
Candidate of Technical Sciences,  
Senior Lecturer of the Department  
of Instrument Engineering,  
Metrology and Certification  
302020, Orel, Naugorskoye  
highway, 29  
Tel. 8(960)641-45-92

**Podmaster'ev Konstantin Valentinovich**  
Oryol State University named after I.S.  
Turgenev  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Director of the Institute of Instrument  
Engineering, Automation and Information  
Technology  
302020, Orel, Naugorskoye highway, 29  
Tel. 8(961)620-55-50

**Suslov Oleg Alexandrovich**  
JSC "Scientific Research  
Institute of Railway Transport"  
Doctor of Technical Sciences,  
Technical Expert of the  
Research Center "Rails,  
Welding, Transport Materials  
Science"  
Moscow, st. 3rd  
Mytishchinskaya, 10

© Незнанов А.И., Подмастерьев К.В., Суслов О.А., 2022

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

УДК 621.7

DOI:10.33979/2073-7408-2022-355-5-109-119

В.Ю. ЛАВРИНЕНКО, В.М. УТЕНКОВ, А.А. МОЛЧАНОВ, Р.Р. ШАГАЛЕЕВ, Н.А. ДАНГ

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРАЦИЙ ГРУНТА  
ПРИ ОСАДКЕ И ГИБКЕ НА МОЛОТАХ**

**Аннотация.** В статье приведены результаты экспериментальных исследований процессов осадки и гибке на молотах. Установлено увеличение продолжительности ударного деформирования, увеличение степени деформации заготовок при осадке и уменьшение угла упругого пружинения при гибке, а также уменьшение вибраций грунта при осадке и гибке при использовании бабы молота с наполнителем в виде стальных шариков по сравнению со стандартной бабой молота.

Снижение вибраций при работе на ковочных, штамповочных и листоштамповочных молотах позволит улучшить условия работы на оборудовании и снизить неблагоприятные воздействия на персонал.

**Ключевые слова:** осадка, гибка, ковочный и штамповочный молот, листоштамповочный молот, ударное деформирование, баба молота с наполнителем, вибрации грунта.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Феофанова А.Е., Лавриненко В.Ю. Экспериментальные исследования процесса удара при осадке цилиндрических заготовок // Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 2. С. 12-15.
2. Лавриненко В.Ю., Аюпов Т.Х. Промышленные испытания бабы с наполнителем штамповочного молота на АО «ММЗ «Авангард» // Заготовительные производства в машиностроении. 2020. Том 18. № 1. С. 19-22.
3. Лавриненко В.Ю. Проектирование технологических процессовковки на молотах при деформировании бабой молота с наполнителем. Учебное пособие. М.: Инновационное машиностроение, 2020. 120 с.
4. Vladislav Y. Lavrinenko, Ruslan R. Shagaleev. The Method of Reducing of Springback Effect during Impact Bending of Sheet Steel Blanks // Materials Science Forum. 2019, Volume 973, Pages 85-89.



5. Лавриненко В.Ю., Шагалеев Р.Р., Чуваев И.С. Исследование зависимости упругого пружинения при гибке листовых заготовок от параметров бабы листоштамповочного молота с наполнителем // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2017. №3 (323). С.39-43.

6. Шагалеев Р.Р., Лавриненко В.Ю. Повышение точности деталей при гибке листовых заготовок на листоштамповочных молотах// *Сборник научных статей и докладов XIV Международного Конгресса «Кузнец-2019»*. Рязань, 2019. С.69-77.

7. Патент на изобретение РФ № 2438825. Баба молота / Феофанова А.Е., Демин В.А., Евсюков С.А., Лавриненко В.Ю., Семенов Е.И. опубл.10.01.2012. Бюл. № 1.

8. Патент на полезную модель РФ № 199522. Баба молота / Аюпов Т.Х., Лавриненко В.Ю., Семенов И.Е., Шагалеев Р.Р., Изикаева А.И., Кошелев О.В., Чекалов В.П., Чекалов В.В. опубл. 07.09.2020. Бюл. №25.

9. Патент на полезную модель РФ № 203749. Баба листоштамповочного молота / Лавриненко В.Ю., Семенов И.Е., Демин В.А., Шагалеев Р.Р. опубл. 19.04.2021. Бюл. №11.

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

**Утенков Владимир Михайлович**  
Московский государственный  
технический университет им.  
Н.Э. Баумана  
Доктор технических наук,  
заведующий кафедрой  
«Металлорежущие станки»  
105005, Москва, 2-я Бауманская  
ул., 5, стр.1  
Тел.: +7 (499) 267-02-36  
E-mail: utencov@bmstu.ru

**Молчанов Александр Александрович**  
Московский государственный  
технический университет им. Н.Э.  
Баумана  
Кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Металлорежущие станки»  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул.,  
5, стр.1  
Тел.: +7 (499) 267-02-36  
E-mail: molchanov.a@bmstu.ru

**Шагалеев Руслан Ринатович**  
Московский государственный  
технический университет им.  
Н.Э. Баумана  
Ассистент кафедры «Технология  
обработки материалов»  
105005, Москва, 2-я Бауманская  
ул., 5, стр.1  
Тел.: +7 (499) 267-02-36  
E-mail: ruslanshag@mail.ru

**Данг Нгок Ань**  
Московский государственный  
технический университет им.  
Н.Э. Баумана  
Студент магистратуры 1 курса  
кафедры «Технология обработки  
материалов»  
105005, Москва, 2-я Бауманская  
ул., 5, стр.1  
Тел.: +7 (499) 267-02-36  
E-mail: dnasiro97@gmail.com

---

V.Yu. LAVRINENKO, V.M. UTENCOV, A.A. MOLCHANOV, R.R. SHAGALEEV, N.A. DANG

## EXPERIMENTAL RESEARCH OF GROUND VIBRATIONS DURING UPSETTING AND BENDING ON HAMMERS

**Abstract.** *The results of experimental studies of the processes of upsetting and bending on hammers are presented. An increase in the duration of impact deformation, an increase of the degree of deformation of the workpieces during upsetting and a decrease of the angle of elastic springback during bending, as well as a decrease of ground vibrations during upsetting and bending when using a hammer head with a fillers in the form of steel balls compared to a standard hammer head were established. Reducing vibrations when working on forging, stamping and sheet-forming hammers will improve working conditions on equipment and reduce adverse effects on personnel.*

**Keywords:** *upsetting, bending, drop forming hammer, sheet-forming hammers, impact forming, hammer head with fillers, ground vibrations.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Feofanova A.E., Lavrinenko V.YU. Eksperimental'nye issledovaniya processa udara pri osadke cilindricheskikh zagotovok // *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii*. 2012. № 2. S. 12-15.
2. Lavrinenko V.YU., Ayupov T.H. Promyshlennyye ispytaniya baby s napolnitelem shtampovochnogo molota na AO «MMZ «Avangard» // *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii*. 2020. Tom 18. № 1. S. 19-22.
3. Lavrinenko V.YU. Proektirovanie tekhnologicheskikh processov kovki na molotah pri deformirovani baboj molota s napolnitelem. *Uchebnoe posobie*. M.: Innovacionnoe mashinostroenie, 2020. 120 s.

4. Vladislav Y. Lavrinenko, Ruslan R. Shagaleev. The Method of Reducing of Springback Effect during Impact Bending of Sheet Steel Blanks // Materials Science Forum. 2019, Volume 973, Pages 85-89.

5. Lavrinenko V.YU., SHagaleev R.R., CHuvaev I.S. Issledovanie zavisimosti uprugogo pruzhineniya pri gibke listovyh zagotovok ot parametrov baby listoshtampovochnogo molota s napolnitelem // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. 2017. №3 (323). S.39-43.

6. SHagaleev R.R., Lavrinenko V.YU. Povyshenie tochnosti detalej pri gibke listovyh zagotovok na listoshtampovochnyh molotah// Sbornik nauchnyh statej i dokladov XIV Mezhdunarodnogo Kongressa «Kuznec-2019». Ryazan', 2019. С.69-77.

7. Patent na izobretenie RF № 2438825. Baba molota / Feofanova A.E., Demin V.A., Evsyukov S.A., Lavrinenko V.YU., Semenov E.I. opubl.10.01.2012. Byul. № 1.

8. Patent na poleznuyu model' RF № 199522. Baba molota / Ayupov T.H., Lavrinenko V.YU., Semenov I.E., Shagaleev R.R., Izikaeva A.I., Koshelev O.V., Chekalov V.P., Chekalov V.V. opubl. 07.09.2020. Byul. №25.

9. Patent na poleznuyu model' RF № 203749. Baba listoshtampovochnogo molota / Lavrinenko V.YU., Semenov I.E., Demin V.A., Shagaleev R.R. opubl. 19.04.2021. Byul. №11.

**Lavrinenko Vladislav Yurievich**  
Moscow State Technical University.  
N.E. Bauman  
Doctor of Technical Sciences, Head  
of the Department of Materials  
Processing Technology  
105005, Moscow, 2nd Baumanskaya  
st., 5, building 1  
Tel.: +7 (499) 267-02-36  
E-mail: vlavrinenko@bmstu.ru

**Utenkov Vladimir Mikhailovich**  
Moscow State Technical  
University. N.E. Bauman  
Doctor of Technical Sciences,  
Head of the Department of Metal  
Cutting Machines  
105005, Moscow, 2nd  
Baumanskaya st., 5, building 1  
Tel.: +7 (499) 267-02-36  
E-mail: utencov@bmstu.ru

**Molchanov Alexander Alexandrovich**  
Moscow State Technical University.  
N.E. Bauman  
Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor of the Department  
of Metal Cutting Machines  
105005, Moscow, 2nd Baumanskaya st.,  
5, building 1  
Tel.: +7 (499) 267-02-36  
E-mail: molchanov.a@bmstu.ru

**Shagaleev Ruslan Rinatovich**  
Moscow State Technical University.  
N.E. Bauman  
Assistant of the Department  
"Technology of Materials  
Processing"  
105005, Moscow, 2nd Baumanskaya  
st., 5, building 1  
Tel.: +7 (499) 267-02-36  
E-mail: ruslanshag@mail.ru

**Dang Ngoc Anh**  
Moscow State Technical  
University. N.E. Bauman  
1st year master's student of the  
department "Technology of  
Materials Processing"  
105005, Moscow, 2nd  
Baumanskaya st., 5, building 1  
Tel.: +7 (499) 267-02-36  
E-mail: dnasiro97@gmail.com

© Лавриненко В.Ю., Утенков В.М., Молчанов А.А., Шагалеев Р.Р., Данг Н.А., 2022

УДК 621.993

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-355-5-120-129

А.О. ХАРЧЕНКО, А.А. ХАРЧЕНКО, Е.А. ВЛАДЕЦКАЯ

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗЬБЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МЕЛКОРАЗМЕРНЫХ ПЛАСТИЧЕСКИ ДЕФОРМИРУЮЩИХ МЕТЧИКОВ**

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследований в направлении повышения эффективности процесса изготовления резьбы рабочей части мелкоразмерных метчиков методом пластического деформирования. Основной причиной, сдерживающей широкое внедрение метода пластической деформации для получения внутренних резьб малых диаметров, является действующая технология изготовления резьбового профиля на метчиках, которая не всегда обеспечивает нормативную стойкость инструмента и качество получаемых внутренних резьб. В этой связи вопросы создания эффективной технологии и оборудования для изготовления мелкоразмерных метчиков методом пластического формирования резьбы их рабочей части является актуальной задачей, решение которой связано с получением значительного экономического эффекта за счет повышения производительности обработки и улучшения качества инструмента. В статье рассмотрены и проанализированы особенности технологии и процессов формообразования мелкоразмерных резьб, технологические характеристики методов их обработки, возможности использования процессов накатывания наружных резьб на рабочей поверхности метчиков.

Рекомендована прогрессивная технология и оборудование для их реализации с учетом опыта, накопленного исследователями и разработчиками в этой области. Предложенная технология изготовления метчиков обеспечивает высокую точность и твердость рабочей части инструмента. При этом трудоемкость изготовления его существенно ниже, чем по существующей технологии, стоимость примерно на порядок меньше стоимости метчиков со шлифованным резьбовым профилем, а прочность и стойкость – значительно выше при обработке резьбы в деталях из конструкционных, коррозионно-стойких, жаропрочных сталей, цветных и титановых сплавов.

**Ключевые слова:** мелкоразмерная резьбообработка, внутренняя резьба, рабочая часть мелкоразмерных метчиков, пластически деформирующие метчики, накатывание наружных резьб, аксиальная резьбонакатная головка, стойкость роликов, технология изготовления метчика, термическая обработка.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меньшаков В.М. Бесстружечные метчики / В.М. Меньшаков, Г.П. Урлапов, В.С. Середа. – М.: Машиностроение, 1976. – 167 с.
2. Матвеев В.В. Нарезание точных резьб / В.В. Матвеев. – М.: Машиностроение, 1978. – 88 с.
3. Миропольский Ю.А. Накатывание резьб и профилей / Ю.А. Миропольский, Э.П. Луговой. – М.: Машиностроение, 1976. – 178 с.
4. Рыжов Э.В. Раскатывание резьб / Э.В. Рыжов, О.С. Андрейчиков, А.Е. Шешков. – М.: Машиностроение, 1974. – 122 с.
5. Фрумин Ю.Л. Высокопроизводительный резьбообразующий инструмент / Ю.Л. Фрумин. – М.: Машиностроение, 1977. – 183 с.
6. Якухин В.Г. Оптимальная технология изготовления резьб / В.Г. Якухин. – М.: Машиностроение, 1985. – 184 с.
7. Братан С.М. Повышение точности формообразования мелкоразмерных резьб метчиками в алюминиевых сплавах: монография / С.М. Братан, Ф.Н. Канареев, П.А. Новиков, А.О. Харченко. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2017. – 164 с.
8. A. Kharchenko, Progressive threading of small holes based on mechanisms of parallel structures (MPS), Materials Today: Proceedings, Volume 38, Part 4. (2021), pp. 2038-2042. DOI:10.1016/j.matpr.2020.10.040.
9. A. Kharchenko, Investigation of the Operational and Technological Reliability of the Small-size Internal Threading Process Materials Research Proceedings 21 (2022) 410-420, Volume 21, (2022), pp. 410-420. DOI: 10.21741/9781644901755-69.
10. Харченко А.О. Анализ и синтез структур современных многооперационных станков: практикум / А.О. Харченко, С.М. Братан, Е.А. Владецкая, С.И. Рошупкин. – М.: Центркаталог, 2018. – 144 с.
11. Харченко А.О. Патентоведение и изобретательство. Практикум / А.О. Харченко, А.Г. Карлов, А.А. Харченко, К.Н. Осипов. – М.: Центркаталог, 2018. – 112 с.
12. Харченко А.О. Практикум по научно-исследовательской деятельности в машиностроении / А.О. Харченко, С.М. Братан, А.А. Харченко, Е.А. Владецкая. – М.: Центркаталог, 2022. – 288 с.

**Харченко Александр Олегович**  
ФГАОУ ВО «Севастопольский  
государственный университет»,  
г. Севастополь  
Кандидат технических наук,  
профессор кафедры «Технология  
машиностроения»  
299053, г. Севастополь,  
ул. Университетская, 33  
Тел. 54-05-57  
E-mail: khao@list.ru

**Харченко Андрей Александрович**  
ФГАОУ ВО «Севастопольский  
государственный университет»,  
г. Севастополь  
Кандидат технических наук,  
доцент кафедры  
«Автомобильный транспорт»  
299053, г. Севастополь,  
ул. Университетская, 33  
Тел. +7 (8692) 54-35-70  
E-mail: a.a.kharchenko@sevsu.ru

**Владецкая Екатерина Александровна**  
ФГАОУ ВО «Севастопольский  
государственный университет»,  
г. Севастополь  
Кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Технология  
машиностроения»  
299053, г. Севастополь,  
ул. Университетская, 33  
Тел. 54-05-57  
E-mail: vladetska@rambler.ru

---

A.O. KHARCHENKO, A.A. KHARCHENKO, E.A. VLADETSKAYA

## INCREASING THE EFFICIENCY OF THREAD FORMING IN THE MANUFACTURE OF SMALL-SIZED PLASTIC DEFORMING TAPS

**Abstract.** The article presents the results of research in the direction of increasing the efficiency of the process of manufacturing the thread of the working part of small-sized taps by the method of plastic deformation. The main reason hindering the widespread introduction of the plastic deformation method for obtaining internal threads of small diameters

is the current technology for manufacturing a threaded profile on taps, which does not always ensure the standard tool life and the quality of the resulting internal threads. In this regard, the issues of creating an effective technology and equipment for the manufacture of small-sized taps by the method of plastic thread formation of their working part is an urgent task, the solution of which is associated with obtaining a significant economic effect by increasing the productivity of processing and improving the quality of the tool. The article considers and analyzes the features of the technology and processes of forming small-sized threads, the technological characteristics of their processing methods, the possibility of using the processes of rolling external threads on the working surface of taps. Progressive technology and equipment for their implementation is recommended, taking into account the experience gained by researchers and developers in this field. The proposed manufacturing technology of taps provides high accuracy and hardness of the working part of the tool. At the same time, the labor intensity of its manufacture is significantly lower than according to the existing technology, the cost is approximately an order of magnitude less than the cost of taps with a ground threaded profile, and strength and durability are much higher when threading in parts made of structural, corrosion-resistant, heat-resistant steels, non-ferrous and titanium alloys.

**Keywords:** small-size threading, internal thread, working part of small-size taps, plastically deforming taps, external thread rolling, axial thread rolling head, roller durability, tap manufacturing technology, heat treatment.

## BIBLIOGRAPHY

1. Menshakov V.M. Besstruzhechnye metchiki (*Unstructured taps*) / V.M. Menshakov, G.P. Uralpov, V.S. Sereda. – M.: Mashinostroyeniye, 1976. – 167 s.
2. Matveyev V.V. Narezaniye tochnykh rez'b (*Precision thread cutting*) / V.V. Matveyev. – M.: Mashinostroyeniye, 1978. – 88 s.
3. Miropol'skiy Yu.A. Nakatyvaniye rez'b i profilye (*Rolling threads and profiles*) / Yu.A. Miropol'skiy, E.P. Lugovoy. – M.: Mashinostroyeniye, 1976. – 178 s.
4. Ryzhov E.V. Raskatyvaniye rez'b (*Thread rolling*) / E.V. Ryzhov, O.S. Andreychikov, A.E. Steshkov. – M.: Mashinostroyeniye, 1974. – 122 s.
5. Frumin Yu.L. Vysokoproizvoditel'nyy rez'boobrazuyushchiy instrument (*High-performance thread-forming tool*) / Yu.L. Frumin. – M.: Mashinostroyeniye, 1977. – 183 s.
6. Yakukhin V.G. Optimal'naya tekhnologiya izgotovleniya rez'b (*Optimal thread manufacturing technology*) / V.G. Yakukhin. – M.: Mashinostroyeniye, 1985. – 184 s.
7. Bratan S.M. Povysheniye tochnosti formoobra-zovaniya melkorazmernykh rez'b metchikami v al'yuminievyykh splavakh: monografiya (*Improving the accuracy of forming small-sized threads with taps in aluminum alloys*) / S.M. Bratan, F.N. Kanareyev, P.A. Novikov, A.O. Kharchenko. – M.: Vuzovskiy uchebnyk: INFRA-M, 2017. – 164 s.
8. A. Kharchenko, Progressive threading of small holes based on mechanisms of parallel structures (MPS), *Materials Today: Proceedings*, Volume 38, Part 4. (2021), pp. 2038-2042. DOI:10.1016/j.matpr.2020.10.040.
9. A. Kharchenko, Investigation of the Operational and Technological Reliability of the Small-size Internal Threading Process *Materials Research Proceedings 21* (2022) 410-420, Volume 21, (2022), pp. 410-420. DOI: 10.21741/9781644901755-69.
10. Kharchenko A.O. Analiz i sintez struktur sovremennykh mnogooperatsionnykh stankov: praktikum (*Analysis and synthesis of the structures of modern multioperational machines: practical*) / A.O. Kharchenko, S.M. Bratan, Ye.A. Vladetskaya, S.I. Roshchupkin. – M.: Tsentrkatalog, 2018. – 144 s.
11. Kharchenko A.O. Patentovedeniye i izobretatel'stvo. Praktikum (*Patenting and invention. Workshop*) / A.O. Kharchenko, A.G. Karlov, A.A. Kharchenko, K.N. Osipov. – M.: Tsentrkatalog, 2018. – 112 s.
12. Kharchenko A.O. Praktikum po nauchno-issledovatel'skoy deyatel'nosti v mashinostroyenii (*Workshop on research activities in mechanical engineering*) / A.O. Kharchenko, S.M. Bratan, A.A. Kharchenko, Ye.A. Vladetskaya. – M.: Tsentrkatalog, 2022. – 288 s.

**Kharchenko Alexander Olegovich**  
"Sevastopol State University",  
Sevastopol  
Ph.D., professor of the department  
"Technology of mechanical  
engineering"  
299053, Sevastopol, Universitetskaya  
St., 33  
Тел. 54-05-57  
E-mail: khao@list.ru

**Kharchenko Andrey Aleksandrovich**  
"Sevastopol State University",  
Sevastopol  
Ph.D., Associate Professor of  
"Automobile Transport"  
299053, Sevastopol,  
Universitetskaya St., 33  
Тел. +7 (8692) 54-35-70  
E-mail: a.a.kharchenko@sevsu.ru

**Vladetskaya Ekaterina Aleksandrovna**  
"Sevastopol State University",  
Sevastopol  
Ph.D., assistant professor of the  
department "Technology of mechanical  
engineering"  
299053, Sevastopol,  
Universitetskaya St., 33  
Тел. 54-05-57  
E-mail: vladetska@rambler.ru

И.А. ШАРИФУЛЛИН, А.Л. НОСКО, Е.В. САФРОНОВ, И.Н. СЕРОВ

## МЕТОД ВЫБОРА ТАБЛИЧНЫМ СПОСОБОМ ТОРМОЗНЫХ РОЛИКОВ МАГНИТНОГО ТИПА ДЛЯ ПАЛЛЕТНЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ СТЕЛЛАЖЕЙ

**Аннотация.** Среди устройств безопасной эксплуатации гравитационных роликовых конвейеров, используемых в стеллажных системах для паллет, одним из наиболее важных элементов является тормозной ролик. Тормозные ролики магнитного (вихретокового) типа являются одними из наиболее перспективных типов тормозных роликов. Основным параметром, определяющим возможность движения паллеты по гравитационному конвейеру, является минимальная скорость для преодоления сопротивления от неровности роликового полотна. На основании данного параметра разработан метод выбора табличным способом тормозных роликов магнитного типа для паллетных гравитационных стеллажей.

**Ключевые слова:** паллета, гравитационный роликовый конвейер, гравитационный стеллаж, магнитный (вихретоковый) тормозной ролик, расчет роликового конвейера, сопротивление передвижению, проводящее тело, постоянный магнит, вихретоковый тормоз.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафронов Е.В., Шарифуллин И.А., Носко А.Л. Устройства безопасной эксплуатации гравитационных роликовых конвейеров паллетного типа: монография / Е.В. Сафронов, И.А. Шарифуллин, А.Л. Носко. – М.: Университетская книга, 2018. 72 с.
2. Сафронов Е. В. Анализ конструкций тормозных роликов гравитационных конвейеров для паллет / Наземные транспортно-технологические средства: проектирование, производство, эксплуатация. Материалы I Всероссийской заочной научно-практической конференции. Чита, 2016. С. 53-62.
3. Носко А.Л., Сафронов Е.В. Методика определения максимально допустимой скорости движения поддона на гравитационном роликовом конвейере / Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2017. № 8 (689). С. 33-41.
4. Шарифуллин И.А., Сафронов Е.В., Носко А.Л. Разработка конструкции и оценка работоспособности тормозного ролика магнитного типа гравитационных конвейеров для поддонов с грузом // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2019. №4. С. 47-51.
5. Сидоренко И. В. Совершенствование методологии комплексной оценки загрязнения воздушного бассейна крупного города для обоснования мониторинга и системы контроля: дис. ... канд. техн. наук: 03.00.16 / Сидоренко Игорь Владимирович. Волгоград, 2008. 184 с.
6. Пат. 198420 Российская Федерация, МПК В65G 13/075. Ролик тормозной магнитный для роликовых гравитационных конвейеров / Носко А.Л., Сафронов Е.В., Потапов В.А., Шарифуллин И.А.; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество «Инженерно-технический центр «КРОС» - № 2020106638; заявл. 12.02.2020; опубл. 06.07.2020. Бюл. № 02-2020.
7. Мартыненко Ю. Г. Движение твердого тела в электрических и магнитных полях. М.: Наука. 1988. 368 с.
8. Hollowell, Thomas Culver; Kahl, Justin Tyme; Stanczak, Matthew Don; Wang, Yizhou. Eddy Current Brake Design for Operation with Extreme Back-drivable Eddy Current Motor // Mechanical Engineering Undergraduates, 2010.
9. Andrew H. C. Gosline, Vincent Hayward. Eddy Current Brakes for Haptic Interfaces: Design, Identification, and Control // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 13, no. 6, pp. 669-677, 2008.
10. Озолин А.Ю. Торможение машин системами с постоянными магнитами [Текст]: дис. канд. техн. наук: 01.02.06 / А.Ю. Озолин. – СПб., 2009. – 134 с.
11. Носко А. Л., Сафронов Е. В. Методика расчета тормозного ролика центробежного типа применительно к гравитационным роликовым конвейерам для паллет // Механизация строительства. 2017. Том 78, № 6. С. 26–31.
12. Ивановский К.Е., Раковщик А.Н., Цоглин А.Н. Роликовые и дисковые конвейеры и устройства. М.: Машиностроение. 1973. 216 с.
13. ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент. М.: Стандартинформ. 2007. 7 с.
14. Pallet Flow. <https://www.interroll.com/products-solutions/product/pf-1100-pallet-roller-flow> (дата обращения: 25.11.2019).
15. Pallet Flow Rack - Mallard Manufacturing. <https://mallardmfg.com/pallet-flow-rack/> (дата обращения: 25.11.2019).
16. Сафронов Е.В. Обеспечение безопасности и повышение эффективности работы гравитационного стеллажа для паллет: дис.... канд. техн. наук: 05.05.04 / Сафронов Евгений Викторович. М., 2019. 166 с.

17. Дубровский В.И., Федорова В.Н. Биомеханика: Учеб. для сред, и высш. учеб, заведений. М.: Изд-во ВЛАДОС-ПРЕСС. 2003. 672 с.

18. Sharifullin I., Nosko A., Safronov E. Mathematical model of the pallet motion on a magnetic brake roller of a gravity flow rack // Acta Mechanica et Automatica. 2022. V.16, № 1. P. 34-39

**Шарифуллин Ильдар Азатович**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва  
Аспирант кафедры «Подъемно-транспортные системы»  
105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1  
Тел. (499) 263–65–92  
E-mail: formujob94@mail.ru

**Носко Андрей Леонидович**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва  
Доктор технических наук, профессор кафедры «Подъемно-транспортные системы»  
105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1  
Тел. (499) 263–65–92  
E-mail: dr.nosko@mail.ru

**Сафронов Евгений Викторович**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные системы»  
105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1  
Тел. (499) 263–65–92  
E-mail: gen-s@mail.ru

**Серов Игорь Николаевич**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва  
Аспирант кафедры «Подъемно-транспортные системы»  
105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1  
Тел. (499) 263–65–92  
E-mail: serovignikolaevich@gmail.com

---

I.A. SHARIFULLIN, A.L. NOSKO, E.V. SAFRONOV, I.N. SEROV

## **TABULAR SELECTION METHOD OF MAGNETIC TYPE BRAKE ROLLERS FOR GRAVITY ROLLER RACKS**

**Abstract.** *Among the devices for the safe operation of gravity roller conveyors used in pallet racking systems, one of the most important elements is the brake roller. Brake rollers of magnetic (eddy current) type are one of the most promising types of brake rollers. The main parameter that determines the possibility of a pallet moving along a gravity conveyor is the minimum speed to overcome the resistance from the unevenness of the roller web. Based on this parameter, a method has been developed for selecting brake rollers of magnetic type for pallet gravity racks in a tabular way.*

**Keywords:** *pallet, gravity roller conveyor, gravity rack, magnetic (eddy current) brake roller, roller conveyor calculation, movement resistance, conductive body, permanent magnet, eddy current brake.*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Safronov E.V., Sharifullin I.A., Nosko A.L. Ustroystva bezopasnoy ekspluatatsii gravitatsionnykh rolikovykh konveyerov palletnogo tipa: monografiya / E.V. Safronov, I.A. Sharifullin, A.L. Nosko. - М.: Universitetskaya kniga, Redaktsionno-izdatel'skiy dom RosNOU, 2018 - 72 p.
2. Safronov E.V. Analiz konstruksiy tormoznykh rolikov gravitatsionnykh konveyerov dlya pallet / Nazemnyye transportno-tekhnologicheskiye sredstva: proyektirovaniye, proizvodstvo, ekspluatatsiya. Materialy I Vserossiyskoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Chita, 2016. pp. 53-62.
3. Nosko A.L., Safronov E.V. Metodika opredeleniya maksimal'no dopustimoy skorosti dvizheniya poddona na gravitatsionnom rolikovom konveyere / Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye. 2017. no. 8 (689). pp. 33-41.
4. Sharifullin I.A., Safronov E.V., Nosko A.L. Razrabotka konstruksii i otsenka rabotosposobnosti tormoznogo rolika magnitnogo tipa gravitatsionnykh konveyerov dlya poddonov s gruzom // Transport: nauka, tekhnika, upravleniye. Nauchnyy informatsionnyy sbornik. 2019. no. 4. pp. 47-51.
5. Sidorenko I. V. Sovershenstvovanie metodologii kompleksnoy ocenki zagryazneniya vozdushnogo bassejna krupnogo goroda dlya obosnovaniya monitoringa i sistemy kontrolya: dis. ... kand. tekhn. nauk: 03.00.16 / Sidorenko Igor Vladimirovich. Volgograd, 2008. 184 s.
6. Pat. 198420 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B65G 13/075. Rolik tormoznoj magnitnyy dlya rolikovykh gravitatsionnykh konveyerov / Nosko A.L., Safronov E.V., Potapov V.A., Sharifullin I.A.; zayavitel' i patentoobladatel' Zakrytoe akcionerное obshchestvo «Inzhenerno-tekhnicheskij centr «KROS» - № 2020106638; zayavl. 12.02.2020; opubl. 06.07.2020. Byul. № 02-2020.
7. Martynenko Y. G. Dvizhenie tverdogo tela v elektricheskikh i magnitnykh polyah. М.: Nauka. 1988. 368 s.
8. Hollowell, Thomas Culver; Kahl, Justin Tyme; Stanczak, Matthew Don; Wang, Yizhou. Eddy Current Brake Design for Operation with Extreme Back-drivable Eddy Current Motor // Mechanical Engineering Undergraduates, 2010.
9. Andrew H. C. Gosline, Vincent Hayward. Eddy Current Brakes for Haptic Interfaces: Design, Identification, and Control // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 13, no. 6, pp. 669-677, 2008.

10. Ozolin A.U. Tormozheniye mashin sistemami s postoyannymi magnitami [Tekst]: dis. kand. tekhn. nauk: 01.02.06 / A.U. Ozolin. – SPb., 2009. – 134 p.
11. Nosko A. L., Safronov E. V. Metodika rascheta tormoznogo rolika centrobezhnogo tipa primenitel'no k gravitacionnym rolikovym konvejeram dlya pallet // Mekhanizaciya stroitel'stva. 2017. Tom 78, № 6. S. 26–31.
12. Ivanovskij K.E., Rakovshchik A.N., Coglin A.N. Rolikovyje i diskovyje konvejery i ustrojstva. M.: Mashinostroenie. 1973. 216 s.
13. GOST 10704-91. Truby stal'nye elektrosvarnye pryamoshovnye. Sortiment. M.: Standartinform. 2007. 7 s.
14. Pallet Flow. <https://www.interroll.com/products-solutions/product/pf-1100-pallet-roller-flow> (дата обращения: 25.11.2019).
15. Pallet Flow Rack - Mallard Manufacturing. <https://mallardmfg.com/pallet-flow-rack/> (дата обращения: 25.11.2019).
16. Safronov E.V. Obespechenie bezopasnosti i povyshenie effektivnosti raboty gravitacionnogo stellazha dlya pallet: dis.... kand. tekhn. nauk: 05.05.04 / Safronov Evgenij Viktorovich. M., 2019. 166 s.
17. Dubrovskij V.I., Fedorova V.N. Biomekhanika: Ucheb. dlya sred, i vyssh. ucheb, zavedenij. M.: Izd-vo VLADOS-PRESS. 2003. 672 s.
18. Sharifullin I., Nosko A., Safronov E. Mathematical model of the pallet motion on a magnetic brake roller of a gravity flow rack // Acta Mechanica et Automatica. 2022. V.16, № 1. P. 34-39.

#### **Sharifullin Ildar Azatovich**

Bauman Moscow State Technical University, Moscow  
Postgraduate of the Department «Lifting and transport systems»  
105005, Moscow, 2-ya Baumanskaya ul., 5, str. 1  
Ph.: (499) 263–65–92  
E-mail: formjob94@mail.ru

#### **Nosko Andrey Leonidovich**

Bauman Moscow State Technical University, Moscow  
D.Sc. of Engineering Sciences, Professor of the Department «Lifting and Transport Systems»  
105005, Moscow, 2-ya Baumanskaya ul., 5, str. 1  
Ph.: (499) 263–65–92  
E-mail: dr.nosko@mail.ru

#### **Safronov Evgeniy Viktorovich**

Bauman Moscow State Technical University, Moscow  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department «Lifting and Transport Systems»  
105005, Moscow, 2-ya Baumanskaya ul., 5, str. 1  
Ph.: (499) 263–65–92  
E-mail: gen-s@mail.ru

#### **Serov Igor Nikolaevich**

Bauman Moscow State Technical University, Moscow  
Postgraduate of the Department «Lifting and transport systems»  
105005, Moscow, 2-ya Baumanskaya ul., 5, str. 1  
Ph.: (499) 263–65–92  
E-mail: serovigornikolaevich@gmail.com

© Шарифуллин И.А., Носко А.Л., Сафронов Е.В., Серов И.Н., 2022

УДК 621.795

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-355-5-144-149

А.В. НЕМЕНКО, М.М. НИКИТИН

## **ПРОЧНОСТНАЯ НАДЕЖНОСТЬ ИЗДЕЛИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОСОБЕННОСТЕЙ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ**

**Аннотация.** Предложена методика оценки остаточной несущей способности детали, подвергшейся многостадийной финишной обработке заданной интенсивности. Получены формулы пересчета количества циклов до разрушения между различными диаграммами усталостных испытаний. В качестве критерия эквивалентности циклической нагрузки на разных режимах предложена функция напряжений, образующая инвариант по вероятностным характеристикам процесса роста дефектов. Предлагаемая методика позволяет оценить потерю нагрузочной способности детали, которая подвергалась финишной обработке существенное время после получения тех же характеристик гладкости и чистоты поверхности, что и у образцов, использованных для испытаний. Полученные результаты могут быть использованы для оценки прочностной надежности изготовленных изделий и для выбора нагрузок при их финишной обработке с целью минимизации усталостных повреждений

**Ключевые слова:** Прочностная надежность, финишная обработка, циклическое нагружение, диаграмма выносливости

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ящерицын П.И. Тонкие доводочные процессы обработки деталей машин и приборов/ П.И. Ящерицын, А.Г. Зайцев, А.И. Барботько//Минск: Наука и техника, 1976 – 328 с.

2. Гетц И. Шлифовка и полировка стекла/И. Гетц, З. Козл, И. Котлер, Ледерер, А. Шилхан, Ф. Жачек// Л.: Издательство литературы по строительству, 1967 – 280с.
3. Школьник Л.М. Методика усталостных испытаний/ Л.М. Школьник// М.: Металлургия, 1978 – 304 с.
4. Ширяев А.Н. Вероятность. Т.1/А.Н. Ширяев//М.:МЦНМО, 2007 – 552 с.
5. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и её инженерные приложения//Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров//М.: Высшая школа, 2000 – 383 с.
6. Ross S.M. Introduction to Probability Models, 10-th edition – Academic Press, 2009. – 801 p.

**Неменко Александра Васильевна**

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

**Никитин Михаил Михайлович**

ФГАОУ «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь  
Старший преподаватель кафедры «Высшая математика»  
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33  
Тел. +79788150316  
E-mail: m.nikitin.1979@gmail.com

---

A.V. NEMENKO, M.M. NIKITIN

**STRENGTH RELIABILITY OF THE PRODUCT DEPENDING  
ON THE FEATURES OF FINISHING**

**Abstract.** *A technique for estimating the residual bearing capacity of a part subjected to multi-stage finishing processing of a given intensity is proposed. Formulae for recalculating the number of cycles to failure between different fatigue test diagrams are obtained. As a criterion for the equivalence of a cyclic load in different modes, a stress function is proposed that forms an invariant in terms of the probabilistic characteristics of the defect growth process. The proposed method makes it possible to evaluate the loss of load capacity of a part that has been subjected to finishing (in particular, polishing) for a significant time after obtaining the same characteristics of smoothness and surface finish as those of the samples used for testing. The results obtained can be used to assess the strength reliability of manufactured products and to select loads during their finishing in order to minimize fatigue damage.*

**Keywords:** *Strength reliability, finishing, cyclic loading, endurance diagram.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Jashhericyn P.I. Tonkie dovodochnye processy obrabotki detalej mashin i priborov/ P.I. Jashhericyn, A.G. Zajcev, A.I. Barbot'ko//Minsk: Nauka i tehnika, 1976 – 328 s.
2. Getc I. Shlifovka i polirovka stekla/I. Getc, Z. Kozl, I. Kotler, Lederer, A. Shilhan, F. Zhachek// L.: Izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu, 1967 – 280s.
3. Shkol'nik L.M. Metodika ustalostnyh ispytaniy/ L.M. Shkol'nik// M.: Metallurgija, 1978 – 304 s.
4. Shirjaev A.N. Verojatnost'. T.1/A.N. Shirjaev//M.:MCNMO, 2007 – 552 s.
5. Ventcel' E.S. Teorija sluchajnyh processov i ejo inzhenernye prilozhenija//E.S. Ventcel', L.A. Ovcharov//M.: Vysshaja shkola, 2000 – 383 s.
6. Ross S.M. Introduction to Probability Models, 10-th edition – Academic Press, 2009. – 801 p.

**Nemenko Alexandra Vasilyevna**

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

**Nikitin Mikhail Mikhailovich**

FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol  
Lecturer of chair «Higher Mathematics »  
Universitetskayast, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053  
Phone +79788150316  
E-mail: m.nikitin.1979@gmail.com



К.Н. ОСИПОВ

## ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

**Аннотация.** Обосновывается метод оценки моментов времени зарождения дефектов (неисправностей), вызванных усталостными разрушениями механических элементов, а также деталей машин и механизмов изделий общего машиностроения. В качестве иллюстративного примера рассмотрен процесс распознавания моментов времени зарождения и развития усталостных разрушений в подшипниковых узлах по результатам измерения характеристик вибрации в реальном времени эксплуатации.

**Ключевые слова:** моделирование, диагностика, риск, надежность, искусственный интеллект.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Охтилев М.Ю. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов / М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов. – М.: Наука, 2006, 410 с.
2. Щербаков А.Г. Организационно-экономический механизм внедрения цифровых технологий на предприятиях оборонно-промышленного комплекса России / А.Г. Щербаков // М.: Издательство «Институт экономических стратегий», издательство «Перспектив», 2019. — 176 с.
3. Хенли Э. Дж. Надежность технических систем и оценка риска: пер. с англ. яз. В.С. Сыромятников, Г.С. Демминой. – М. Машиностроение, 1984 г. – 528 с.
4. Анимица Е.Г., Анимица П.Е., Глумов А.А. Импортзамещение в промышленном производстве региона: концептуально-теоретические и прикладные аспекты / Е. Г. Анимица, П. Е. Анимица, А. А. Глумов // Экономика региона. — 2015. — №3. — С. 160-172.
5. Абрамов, О. В. Об оценке вероятности наступления рискованного события: функционально-параметрический подход / О. В. Абрамов // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 1. – С. 24–31.
6. Новиков В.В., Новикова М.В., Прогнозирование опасного состояния сложных технических систем. Журнал «Военная мысль» №5 - 2017. Стр.50-54.
7. Pervukhina, E., Osipov, K., Golikova, V. (2015) Lowering toxic concentrations in the diesel exhaust gases // Communications in Computer and Information Science, Special Issue “Optimization in the Natural Sciences,” pp. 118-128.
8. Новиков В.В. Теоретические основы обеспечения безаварийной эксплуатации современных изделий машиностроения: монография / В.В. Новиков, К.Н. Осипов. – Севастополь – ФГАОУ ВО «ЧВВМУ», 2022. – 249 с.:ил.
9. Стрейц В. Метод пространства состояний в теории дискретных линейных систем управления. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 296 с.
10. Pervukhina, E., Emmenegger J.-F. Adaptive time series filters obtained by minimization of the Kullback-Leibler divergence criterion // International Journal of Applied Mathematics, 2005. – Vol. 17. – № 1. – P.69-89.
11. Haikin, S. Neural networks / S. Haykin. – Moscow: Publishing house «Williams», 2006. – 1103 p

#### Осипов Константин Николаевич

ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборные системы и автоматизация технологических процессов».

299053, г. Севастополь, ул. Университетская 33.

Тел. +7(8692)-55-00-77,

Email: assistenttmm@mail.ru

K.N. OSIPOV

## APPLICATION OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS FOR EVALUATION OF THE TECHNICAL CONDITIONS OF ENGINEERING PRODUCTS

**Abstract.** A method is substantiated for estimating the moments of the origin of defects (malfunctions) caused by fatigue failures of mechanical elements, as well as parts of machines and mechanisms of general engineering products.

*As an illustrative example, the process of recognition of the moments of initiation and development of fatigue failures in bearing assemblies based on the results of measuring vibration characteristics in real time operation is considered.*

**Keywords:** modeling, diagnostics, risk, reliability, artificial intelligence.

## BIBLIOGRAPHY

1. Okhtilev M.Yu. Intelligent technologies for monitoring and managing the structural dynamics of complex technical objects / M.Yu. Okhtilev, B.V. Sokolov, R.M. Yusupov. – M.: Nauka, 2006, 410 p.
2. Shcherbakov A.G. Organizational and economic mechanism for the introduction of digital technologies at the enterprises of the military-industrial complex of Russia / A.G. Shcherbakov // M.: Publishing house "Institute of Economic Strategies", publishing house "Prospekt", 2019. - 176 p.
3. Henley E. J. Reliability of technical systems and risk assessment: per. from eng. lang. V.S. Syromyatnikov, G.S. Demmina. - M. Mashinostroenie, 1984 - 528 p.
4. Animitsa E.G., Animitsa P.E., Glumov A.A. Import substitution in the industrial production of the region: conceptual, theoretical and applied aspects / E. G. Animitsa, P. E. Animitsa, A. A. Glumov // Economics of the region. - 2015. - No. 3. — S. 160-172.
5. Abramov, O. V. On assessing the probability of a risk event: a functional-parametric approach / O. V. Abramov // Reliability and quality of complex systems. - 2016. - No. 1. - P. 24–31.
6. V. V. Novikov and M. V. Novikova, Forecasting the dangerous state of complex technical systems. Journal "Military Thought" No. 5 - 2017. P. 50-54.
7. Pervukhina, E., Osipov, K., Golikova, V. (2015) Lowering toxic concentrations in the diesel exhaust gases // Communications in Computer and Information Science, Special Issue "Optimization in the Natural Sciences," pp. 118-128.
8. Novikov V.V. Theoretical foundations for ensuring trouble-free operation of modern mechanical engineering products: monograph / V.V. Novikov, K.N. Osipov. - Sevastopol - FGAOU VO "CHVVMU", 2022. - 249 p.: ill.
9. Streits V. State space method in the theory of discrete linear control systems. – M.: Science. Main edition of physical and mathematical literature, 1985. - 296 p.
10. Pervukhina, E., Emmenegger J.-F. Adaptive time series filters obtained by minimization of the Kullback-Leibler divergence criterion // International Journal of Applied Mathematics, 2005. – Vol. 17. - No. 1. - P.69-89.
11. Haikin, S. Neural networks / S. Hykin. - Moscow: Publishing house "Williams", 2006. - 1103 p

### **Osipov Konstantin Nikolaevich**

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

© Осипов К.Н., 2022

УДК 621.993

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-355-5-158-164

**А.О. ХАРЧЕНКО, А.А. ХАРЧЕНКО, Е.А. ВЛАДЕЦКАЯ**

## **ПРОГРЕССИВНОЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАБОЧЕЙ ЧАСТИ МЕЛКОРАЗМЕРНЫХ ПЛАСТИЧЕСКИ ДЕФОРМИРУЮЩИХ МЕТЧИКОВ**

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследований в направлении создания прогрессивного оборудования для получения рабочей части пластически деформирующих метчиков (ПДМ) новых конструкций для повышением производительности обработки и улучшения качества рабочей части инструмента. Одной из причин, сдерживающих широкое внедрение метода пластической деформации для получения внутренних резьб малых диаметров, является отсутствие эффективного оборудования и устройств для получения рабочей части мелкоразмерных ПДМ новых конструкций. В этой связи вопросы создания такого оборудования является актуальной задачей, решение которой связано с получением значительного экономического эффекта за счет повышения производительности обработки и улучшения качества инструмента. В статье рассмотрены и проанализированы особенности совершенствования конструкций аксиальных резьбонакатных головок для накатывания наружных резьб на рабочей поверхности метчиков. На основе проведенных морфологического анализа, структурно-компоновочного и последующего параметрического синтеза вариантов резьбонакатных головок реализована возможность использования процессов накатывания наружных резьб на гранёной рабочей поверхности метчиков. Предложенные варианты резьбонакатных головок с эксцентриковыми роликами, с

криволинейными роликами, а также с упругими элементами обеспечивают высокую точность и твердость рабочей части накатываемого инструмента. При этом трудоемкость изготовления его существенно ниже, чем по существующей технологии с использованием резьбошлифования, стоимость примерно на порядок меньше стоимости стандартных бесстружечных метчиков, а прочность и стойкость – значительно выше. Внедрение прогрессивных конструкций резьбонакатных головок для изготовления ПДМ в производство повышает производительность труда и комплексных технологических показателей процесса.

**Ключевые слова:** мелкоразмерная резьбообработка, гранёная рабочая часть мелкоразмерных метчиков, пластически деформирующие метчики, накатывание наружных резьб, резьбонакатная головка, эксцентровые ролики, криволинейные ролики, термическая обработка.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меньшаков В.М. Бесстружечные метчики / В.М. Меньшаков, Г.П. Урлапов, В.С. Серeda. – М.: Машиностроение, 1976. – 167 с.
2. Матвеев В.В. Нарезание точных резьб / В.В. Матвеев. – М.: Машиностроение, 1978. – 88 с.
3. Миропольский Ю.А. Накатывание резьб и профилей / Ю.А. Миропольский, Э.П. Луговой. – М.: Машиностроение, 1976. – 178 с.
4. Рыжов Э.В. Раскатывание резьб / Э.В. Рыжов, О.С. Андрейчиков, А.Е. Шешков. – М.: Машиностроение, 1974. – 122 с.
5. Фрумин Ю.Л. Высокопроизводительный резьбообразующий инструмент / Ю.Л. Фрумин. – М.: Машиностроение, 1977. – 183 с.
6. Якухин В.Г. Оптимальная технология изготовления резьб / В.Г. Якухин. – М.: Машиностроение, 1985. – 184 с.
7. Султанов Т.А. Резьбонакатные головки / Т.А. Султанов. – М.: Машиностроение, 1966. – 134 с.
8. A. Kharchenko, Progressive threading of small holes based on mechanisms of parallel structures (MPS), *Materials Today: Proceedings*, Volume 38, Part 4. (2021), pp. 2038-2042. DOI:10.1016/j.matpr.2020.10.040.
9. A. Kharchenko, Investigation of the Operational and Technological Reliability of the Small-size Internal Threading Process *Materials Research Proceedings* 21 (2022) 410-420, Volume 21, (2022), pp. 410-420. DOI: 10.21741/9781644901755-69.
10. Харченко А.О. Анализ и синтез структур современных многооперационных станков: практикум / А.О. Харченко, С.М. Братан, Е.А. Владецкая, С.И. Рошупкин. – М.: Центркаталог, 2018. – 144 с.
11. Харченко А.О. Патентование и изобретательство. Практикум / А.О. Харченко, А.Г. Карлов, А.А. Харченко, К.Н. Осипов. – М.: Центркаталог, 2018. – 112 с.
12. Харченко А.О. Практикум по научно-исследовательской деятельности в машиностроении / А.О. Харченко, С.М. Братан, А.А. Харченко, Е.А. Владецкая. – М.: Центркаталог, 2022. – 288 с.

**Харченко Александр Олегович**  
ФГАОУ ВО «Севастопольский  
государственный университет»,  
г. Севастополь  
Кандидат технических наук,  
профессор кафедры «Технология  
машиностроения»  
299053, г. Севастополь,  
ул. Университетская, 33  
Тел. 54-05-57  
E-mail: khao@list.ru

**Харченко Андрей Александрович**  
ФГАОУ ВО «Севастопольский  
государственный университет»,  
г. Севастополь  
Кандидат технических наук,  
доцент кафедры  
«Автомобильный транспорт»  
299053, г. Севастополь,  
ул. Университетская, 33  
Тел. +7 (8692) 54-35-70  
E-mail: a.a.kharchenko@sevsu.ru

**Владецкая Екатерина Александровна**  
ФГАОУ ВО «Севастопольский  
государственный университет»,  
г. Севастополь  
Кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Технология  
машиностроения»  
299053, г. Севастополь,  
ул. Университетская, 33  
Тел. 54-05-57  
E-mail: vladetska@rambler.ru

---

A.O. KHARCHENKO, A.A. KHARCHENKO, E.A. VLADETSKAYA

## PROGRESSIVE EQUIPMENT FOR OBTAINING THE WORKING PART OF SMALL-SIZED PLASTIC DEFORMING TAPS

**Abstract.** *The article presents the results of research in the direction of creating advanced equipment for obtaining the working part of plastically deforming taps (PDT) of new designs to increase processing productivity and improve the quality of the working part of the tool. One of the reasons hindering the widespread introduction of the plastic deformation method for obtaining internal threads of small diameters is the lack of effective equipment and devices for obtaining the working part of small-sized PDT of new designs. In this regard, the issue of creating such equipment is an urgent task, the solution of which is associated with obtaining a significant economic effect by increasing the productivity of processing and improving the quality of the tool. The article discusses and analyzes the features of improving the design of axial thread rolling heads for rolling external threads on the working surface of taps. On the basis of the morphological analysis, structural-layout and subsequent parametric synthesis of the variants of thread rolling heads, the possibility of using the processes of rolling external threads on the faceted working surface of taps is realized. The proposed versions of thread rolling heads with eccentric rollers, with curved rollers, as well as with elastic elements provide high accuracy and hardness of the working part of the knurled tool. At the same time, the labor intensity of its manufacture is significantly lower than according to the existing technology using thread grinding, the cost is*

*approximately an order of magnitude less than the cost of standard chipless taps, and the strength and durability are much higher. The introduction of progressive designs of thread-rolling heads for the manufacture of PDT into production increases labor productivity and complex technological indicators of the process.*

**Keywords:** *small-size threading, faceted working part of small-size taps, plastically deforming taps, external thread rolling, thread rolling head, eccentric rollers, curved rollers, heat treatment.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Menshakov V.M. Besstruzhechnye metchiki (Unstructured taps) / V.M. Menshakov, G.P. Uralpov, V.S. Sereda. – M.: Mashinostroyeniye, 1976. – 167 s.
2. Matveyev V.V. Narezaniye tochnykh rez'b (Precision thread cutting) / V.V. Matveyev. – M.: Mashinostroyeniye, 1978. – 88 s.
3. Miropol'skiy Yu.A. Nakatyvaniye rez'b i profilye (Rolling threads and profiles) / Yu.A. Miropol'skiy, E.P. Lugovoy. – M.: Mashinostroyeniye, 1976. – 178 s.
4. Ryzhov E.V. Raskatyvaniye rez'b (Thread rolling) / E.V. Ryzhov, O.S. Andreychikov, A.E. Steshkov. – M.: Mashinostroyeniye, 1974. – 122 s.
5. Frumin Yu.L. Vysokoproizvoditel'nyy rez'boobrazuyushchiy instrument (High-performance thread-forming tool) / Yu.L. Frumin. – M.: Mashinostroyeniye, 1977. – 183 s.
6. Yakukhin V.G. Optimal'naya tekhnologiya izgotovleniya rez'b (Optimal thread manufacturing technology) / V.G. Yakukhin. – M.: Mashinostroyeniye, 1985. – 184 s.
7. Sultanov T.A. Rez'bonakatnyye golovki (Thread rolling heads) / T.A. Sultanov. – M.: Mashinostroyeniye, 1966. – 134 s.
8. A. Kharchenko, Progressive threading of small holes based on mechanisms of parallel structures (MPS), Materials Today: Proceedings, Volume 38, Part 4. (2021), pp. 2038-2042. DOI:10.1016/j.matpr.2020.10.040.
9. A. Kharchenko, Investigation of the Operational and Technological Reliability of the Small-size Internal Threading Process Materials Research Proceedings 21 (2022) 410-420, Volume 21, (2022), pp. 410-420. DOI: 10.21741/9781644901755-69.
10. Kharchenko A.O. Analiz i sintez struktur sovremennykh mnogooperatsionnykh stankov: praktikum (Analysis and synthesis of the structures of modern multioperational machines: practical) / A.O. Kharchenko, S.M. Bratan, Ye.A. Vladetskaya, S.I. Roshchupkin. – M.: Tsentrkatalog, 2018. – 144 s.
11. Kharchenko A.O. Patentovedeniye i izobretatel'stvo. Praktikum (Patenting and invention. Workshop) / A.O. Kharchenko, A.G. Karlov, A.A. Kharchenko, K.N. Osipov. – M.: Tsentrkatalog, 2018. – 112 s.
12. Kharchenko A.O. Praktikum po nauchno-issledovatel'skoy deyatelnosti v mashinostroyenii (Workshop on research activities in mechanical engineering) / A.O. Kharchenko, S.M. Bratan, A.A. Kharchenko, Ye.A. Vladetskaya. – M.: Tsentrkatalog, 2022. – 288 s.

**Kharchenko Alexander Olegovich**  
"Sevastopol State University",  
Sevastopol  
Ph.D., professor of the department  
"Technology of mechanical  
engineering"  
299053, Sevastopol,  
Universitetskaya St., 33  
Тел. 54-05-57  
E-mail: khao@list.ru

**Kharchenko Andrey Aleksandrovich**  
"Sevastopol State University",  
Sevastopol  
Ph.D., Associate Professor of  
"Automobile Transport"  
299053, Sevastopol,  
Universitetskaya St., 33  
Тел. +7 (8692) 54-35-70  
E-mail: a.a.kharchenko@sevsu.ru

**Vladetskaya Ekaterina Aleksandrovna**  
"Sevastopol State University",  
Sevastopol  
Ph.D., assistant professor of the  
department "Technology of  
mechanical engineering"  
299053, Sevastopol,  
Universitetskaya St., 33  
Тел. 54-05-57  
E-mail: vladetska@rambler.ru

© Харченко А.О., Харченко А.А., Владецкая Е.А., 2022

УДК 531.3+534.83+5207.114.2+621.43

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-355-5-165-176

З.А. ГОДЖАЕВ, В.В. ШЕХОВЦОВ, М.В. ЛЯШЕНКО, В.К. МЕРЛЯК, П.В. ПОТАПОВ

## ПРИВЕДЕНИЕ В СООТВЕТСТВИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИЛОВЫХ ПЕРЕДАЧ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА И РЕАЛЬНОЙ МАШИНЫ

**Аннотация.** Показатели работоспособности и долговечности силовых передач тягово-транспортных машин определяются в результате полевых либо стендовых испытаний, причем стендовые испытания используются гораздо чаще в силу ряда их преимуществ. Чтобы результаты испытаний были достоверными, их режимы должны соответствовать режимам эксплуатационной нагруженности силовых передач. Однако в общем случае состав силовых передач тягово-транспортных машин и стенда, а, следовательно, упруго-инерционные параметры их элементов существенно различны, так как в состав стендов обычно не включают ходовую систему, подвеску и ряд других узлов; стенды также обычно имеют электрический привод. Тем временем в реальных условиях эксплуатации на динамическую нагруженность силовых передач тягово-транспортных машин оказывает влияние совместная работа каждого из ее узлов, имеющего прямое или косвенное влияние на прохождение через нее силового потока. При стендовых же испытаниях на эту нагруженность оказывает влияние совместная работа испытываемой силовой передачи с узлами стенда, имеющими иные упруго-инерционные

характеристики. Вследствие этого результаты испытаний в ряде случаев оказываются не достоверными, то есть не отвечающими результатам эксплуатации. Добиться повышения степени соответствия возможно за счет корректировки упругих и инерционных свойств элементов силовой передачи стенда. Конструктивное воплощение этой корректировки представляет определенную сложность. Очевидно, что невозможно в необходимых пределах изменять моменты инерции масс стенда и крутильную жесткость их связей без нарушения прочностных характеристик деталей. Поэтому для проведения ресурсных испытаний на стенде на динамических нагрузочных режимах необходимо в его состав дополнительно вводить специальные устройства, при помощи которых возможно управлять собственными динамическими свойствами элементов его силовой передачи с целью повышения степени их соответствия свойствам силовой передачи реальной машины. Для практического изменения параметров силовой передачи стендов предложена и запатентована группа устройств, названных упруго-инерционными вариаторами, способных по сигналу управления бесступенчато изменять упругие или инерционные параметры участков силовой передачи стенда. Кроме того, устройства позволяют выполнить отстройку от резонанса в силовой цепи стенда, а также использовать возникающую при изменении их динамических параметров дополнительную динамическую составляющую нагрузки для формирования нагрузочного режима стенда.

**Ключевые слова:** силовая передача, испытательный стенд, управление динамическими свойствами силовой передачи, динамический режим нагружения, упруго-инерционные вариаторы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шеховцов В.В. Анализ и синтез динамических характеристик автотракторных силовых передач и средств для их испытания. Монография. – Волгоград, изд-во РПК «Политехник», 2004. – 224 с.
2. Совершенствование автотракторных силовых передач на основе анализа и синтеза их динамических характеристик на этапе проектирования: автореферат дис.... доктора технических наук: 05.05.03 / Волгогр. гос. техн. ун-т. – Волгоград, 2004. – 47 с.
3. Шеховцов В.В., Шевчук В.П., Зленко С.В. и др. Распространение крутильных колебаний в валопроводе силовой передачи трактора ВТ-100 // Тракторы и сельскохозяйственные машины № 8, 2002. – С. 10 – 12.
4. Годжаев З.А.-о. Совершенствование динамических характеристик силовых передач тракторов на основе методов многокритериальной оптимизации: Дис.... докт. техн. наук. / Гос. научн.-исслед. тракторный ин-т. - М., 1994.
5. Динамическая нагруженность и оптимизация жесткости валопровода трансмиссий мобильных машин / З.А. Годжаев и др. // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1996. - № 3.
6. Котовсков А.В. Исследование динамики механической и гидромеханической трансмиссий энергонасыщенного гусеничного сельскохозяйственного трактора на переходных режимах движения. - Дис.... канд. техн. наук. - Волгоград, 1979.
7. Тескер Е.И., Шеховцов В.В., Зленко С.В., Кумсков Д.И. Анализ динамических воздействий на ведущие колеса гусеничного трактора // МOТAУTО-97: Труды четвертой Международной науч.-техн. конференции. БОЛГАРИЯ, г. Русса, 1997.
8. Тескер Е.И., Шеховцов В.В., Зленко С.В., Кумсков Д.И. Исследование динамических процессов в силовой передаче гусеничной машины: Труды Международной конференции "Dynamika strojovych agregatov". – Чехословакия, г. Габчиково, 1998.
9. Ходес И.В., Шеховцов В.В. Анализ нагруженности трансмиссий тракторов ВгТЗ в эксплуатации // Методы повышения надежности трансмиссии тракторов и сельхозмашин в соответствии с задачами продовольственной программы: Тез. докл. - Ростов-на Дону, 1987.
10. Szechowcow W.W. Analiza i synteza systemów dynamicznych układów napędowych pojazdów na etapie ich projektowania: Monografia. - Warszawa, 1998.
11. Ходес, И.В. Пути приближения условий нагружения трансмиссий на стенде к условиям ее работы на тракторе / И.В. Ходес, В.В. Шеховцов, Вл.П. Шевчук // Повышение надежности и снижение металлоемкости зубчатых передач и редукторов общемашиностроительного применения: тез. док. республ. науч.-техн. конф., 29-30 сент. – 1 окт. 1983 г. – Харьков, 1983. – С. 175-176.
12. Формирование динамической системы стенда для испытания трансмиссий на этапе проектирования / З.А. Годжаев, В.В. Шеховцов, М.В. Ляшенко, В.К. Мерляк, М.В. Филиппов // Тракторы и сельхозмашины. – 2021. – № 4. – С. 22-32. – DOI: 10.31992/0321-4443-2021-4-22-32.
13. Годжаев, З.А. Современные конструкторско-технологические методы создания и испытаний мобильных транспортных средств / З.А. Годжаев, В.В. Шеховцов // Известия ВолгГТУ. Серия "Наземные транспортные системы". Вып. 4: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – № 12. – С. 5-8.
14. К разработке методики ускоренных стендовых испытаний трансмиссий сельскохозяйственных тракторов / И.В. Ходес, Е.И. Тескер, В.В. Шеховцов, Вл.П. Шевчук, А.О. Куликов // Основные направления экономики и рационального использования металла в автотракторостроении: тез. докл. всесоюз. науч.-техн. конф. (18-19 окт.) / Челябинск. филиал НАТИ [и др.]. – Челябинск, 1984. – С. 182-184.
15. Ходес, И.В. Стендовое оборудование для испытаний трансмиссий тракторов / И.В. Ходес, В.В. Шеховцов, Вл.П. Шевчук // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1988. – № 7. – С. 10 – 13.
16. Стендовое оборудование для испытаний силовых передач тракторов / В.В. Шеховцов, И.В. Ходес, Вл.П. Шевчук, Н.С. Соколов-Добрев, К.В. Шеховцов, Е.В. Клементьев // Современные наукоёмкие технологии. – 2013. – № 1. – С. 36-40.
17. Ходес, И.В. Разработка стендового оборудования и некоторые результаты испытаний тракторных трансмиссий в режиме переменных нагрузок / И.В. Ходес, В.В. Шеховцов, Вл.П. Шевчук // Несущая способность и качество зубчатых передач и редукторов машин: тез. докл. всесоюз. науч.-техн. конф. (г. Алма-Ата, сент. 1985 г.) / Науч.-техн. общество машиностроит. пром-сти [и др.]. – М., 1985. – Ч. II. – С. 50-51.

18. Мерляк, В.К. Требования к нагрузителям стендов для испытания трансмиссий / В.К. Мерляк // XXV Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области (г. Волгоград, 24–27 нояб. 2020 г.): сб. материалов конф. / редкол.: С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.]; ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – С. 41–42.

19. Нагружающие устройства испытательных стендов / З.А. Годжаев, В.В. Шеховцов, М.В. Ляшенко, В.К. Мерляк, Н.В. Филиппов // Автомобильная промышленность. – 2021. – № 8. – С. 33–40.

20. Шеховцов, В.В. Управление динамическими свойствами силовых передач стендов / В.В. Шеховцов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1997. – № 11. – С. 32 – 35.

21. А.с. 1422050 (СССР), МКИ G 01 M 13/02. Стенд для испытания ведущих мостов транспортных средств / И.В. Ходес, В.В.Шеховцов, А.А. Скопп; ВолгПИ. - № 4190611/31-11; Заявл. 04.02.87; Оpubл. 07.09.88; Бюл. № 33 // Открытия. Изобретения. - 1988. - № 33. - С. 162-163.

22. А.с. 1422048 (СССР), МКИ G 01 M 13/02. Стенд с замкнутым силовым контуром для испытания агрегатов трансмиссии транспортных средств / И.В. Ходес, В.В.Шеховцов; ВолгПИ. - № 4190609/31-11; Заявл. 04.02.87; Оpubл. 07.09.88; Бюл. № 33 // Открытия. Изобретения. - 1988. - № 33. - С. 162.

23. А.с. 1422049 (СССР), МКИ G 01 M 13/02. Стенд для испытания моторно-трансмиссионной установки транспортного средства //И.В. Ходес, В.В.Шеховцов, А.А. Скопп; ВолгПИ. - № 4190610/31-11; Заявл. 04.02.87; Оpubл. 07.09.88; Бюл. № 33 // Открытия. Изобретения. - 1988. - № 33. - С. 162.

24. А.с. 1472786 (СССР), МКИ G 01 M 13/02. Стенд для испытания моторно-трансмиссионной установки транспортного средства /И.В. Ходес, В.В.Шеховцов, А.А Скопп; ВолгПИ. - № 4211515/31-11; Заявл. 16.03.87; Оpubл. 15.04.89; Бюл. № 14 // Открытия. Изобретения. - 1989. - № 14. - С. 181-182.

25. Пат. № 2102715, G 01 M 13/02, 17/00. Стенд для испытания моторно-трансмиссионной установки транспортного средства / Шеховцов В.В. - № 96113549/28; Заявлено 01.07.96; Оpubл. 20.01.98, Бюл. № 2. – 14 с.

**Годжаев Захид Адыгезалович**  
доктор технических наук,  
профессор, член-корреспондент  
РАН, заместитель директора  
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ,  
109428, РФ, г. Москва, 1-й  
Институтский проезд, дом 5,  
тел.(499) 171-43-49, fic51@mail.ru

**Шеховцов Виктор Викторович**  
доктор технических наук,  
профессор, профессор кафедры  
«Техническая эксплуатация и  
ремонт автомобилей»  
Волгоградского государственного  
технического университета,  
400005, РФ, г. Волгоград, пр-т  
Ленина, 28, тел. (8442) 24-81-16,  
shehovtsov@vstu.ru

**Ляшенко Михаил Вольфредович**  
доктор технических наук,  
профессор, заведующий кафедрой  
«Техническая эксплуатация и  
ремонт автомобилей»  
Волгоградского государственного  
технического университета,  
400005, РФ, г. Волгоград, пр-т  
Ленина, 28, тел. (8442) 24-81-62,  
tslmv@vstu.ru

**Мерляк Вячеслав Константинович**  
аспирант кафедры «Техническая  
эксплуатация и ремонт  
автомобилей» Волгоградского  
государственного технического  
университета,  
400005, РФ, г. Волгоград, пр-т  
Ленина, 28, тел. (8442) 24-81-62,  
slava.merlyak@yandex.ru

**Потапов Павел Викторович**  
доцент кафедры «Техническая  
эксплуатация и ремонт  
автомобилей» Волгоградского  
государственного технического  
университета,  
400005, РФ, г. Волгоград, пр-т  
Ленина, 28, тел. (8442) 24-81-62,  
pvicpotapov@gmail.com

---

Z.A. GODZHAEV, V.V. SHEKHOVTSOV, M.V. LIASHENKO, V.K. MERLYAK, P.V. POTAPOV

## SETTING AN ALIGNMENT BETWEEN DYNAMIC CHARACTERISTICS OF TEST STAND AND REAL VEHICLE DRIVETRAINS

**Abstract.** *It is possible to determine characteristics of operability and durability of vehicles and special machines by field or stand researches but stand researches are used more often because of some advantages. To provide accuracy of stand researches it is necessary to align research regimes to regimes of operational loadings of drivetrains. But generally, structures of drivetrains of vehicles and special machines differ from stands structure thus inertial and stiffness characteristics of drivetrain elements are also different. This can be explained by the fact that structure of test stands usually don't includes mover, suspension and some other elements also stand drive is electric. But in real conditions drivetrain dynamical loadings depends on joint operation of all elements. Direct or indirect influence of each element on power flow through drivetrain is very important. Joint operation of a tested drivetrain and stand elements having different inertial and stiffness characteristics affects dynamical loading of drivetrain during stand researches. It causes inaccuracy of research results and their mismatch to operational results. Alignment of inertial and stiffness parameters of stand drivetrain provide increasing of accuracy rate. But implementation of these correctives in real stand construction is difficult. Obviously, it is impossible to reduce inertia moments of stand elements and torsional stiffness of links in within the necessary limits without decline of strength properties of elements. Thus, it is necessary to use special details in stand drivetrain structure for resource researches at dynamic loading regimes. These details provide a control of own dynamic characteristics of stand drivetrain and thus increasing rate of accordance of stand drivetrain parameters with parameters of a real vehicle drivetrain. Group of mechanisms called elastic-inertial variators providing practical changing of parameters of stand drivetrain was proposed and patented. These mechanisms can change inertial and stiffness parameters of stand drivetrain areas by the control signal. Also, these mechanisms provide the tuning from resonance in the stand drivetrain and using of additional dynamic component of load originating during change of mechanisms dynamic parameters for creating of stand loading regimes.*

**Keywords:** *drivetrain, test stand, control of drivetrain dynamic characteristics, dynamic loading regime, elastic-inertial variators.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Shekhovtsov V.V. Analiz i sintez dinamicheskikh kharakteristik avtotraktornykh silovykh peredach i sredstv dlya ikh ispytaniya. Monografiya. – Volgograd. izd-vo RPK «Politekhnik». 2004. – 224 s.
2. Sovershenstvovaniye avtotraktornykh silovykh peredach na osnove analiza i sinteza ikh dinamicheskikh kharakteristik na etape proyektirovaniya: avtoreferat dis.... doktora tekhnicheskikh nauk: 05.05.03 / Volgogr. gos. tekhn. un-t. – Volgograd. 2004. – 47 s.
3. Shekhovtsov V.V., Shevchuk V.P., Zlenko S.V. i dr. Rasprostraneniye krutilnykh kolebaniy v valoprovode silovoy peredachi traktora VT-100 // Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny № 8. 2002. – S. 10 – 12.
4. Godzhayev Z.A.-o. Sovershenstvovaniye dinamicheskikh kharakteristik silovykh peredach traktorov na osnove metodov mnogokriterialnoy optimizatsii: Dis.... dokt. tekhn. nauk. / Gos. nauchn.-issled. traktorny in-t. M., 1994.
5. Dinamicheskaya nagruzhennost i optimizatsiya zhestkosti valoprovoda transmissiy mobilnykh mashin / Z.A. Godzhayev i dr. // Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny, 1996. № 3.
6. Kotovskov A.V. Issledovaniye dinamiki mekhanicheskoy i gidromekhanicheskoy transmissiy energonasyshchennogo gusenichnogo sel'skokhozyaystvennogo traktora na perekhodnykh rezhimakh dvizheniya. Dis.... kand. tekhn. nauk. Volgograd, 1979.
7. Tesker E.I., Shekhovtsov V.V., Zlenko S.V., Kumskov D.I. Analiz dinamicheskikh vozdeystviy na vedushchiye koleza gusenichnogo traktora // MOTAUTO-97: Trudy chetvertoy Mezhdunarodnoy nauch.-tekhn. konferentsii. BOLGARIYA, g. Russa, 1997.
8. Tesker E.I., Shekhovtsov V.V., Zlenko S.V., Kumskov D.I. Issledovaniye dinamicheskikh protsessov v silovoy peredache gusenichnoy mashiny: Trudy Mezhdunarodnoy konferentsii «Dynamika strojovych agregatov». – Chekhoslovakiya, g. Gabchikovo, 1998.
9. Khodes I.V., Shekhovtsov V.V. Analiz nagruzhennosti transmissiy traktorov VgTZ v ekspluatatsii // Metody povysheniya nadezhnosti transmissii traktorov i sel'khoz mashin v sootvetstviy s zadachami prodovolstvennoy programmy: Tez. dokl. Rostov-na Donu, 1987.
10. Szechowcow W.W. Analiza i synteza systemow dynamicznych ukladow napedowych pojazdow na etapie ich projektowania: Monografia. Warszawa, 1998.
11. Khodes. I.V. Puti priblizheniya usloviy nagruzheniya transmissiy na stende k usloviyam eye raboty na traktore / I.V. Khodes, V.V. Shekhovtsov, VI.P. Shevchuk // Povysheniye nadezhnosti i snizheniye metalloyemkosti zubchatykh peredach i reduktorov obshchemashinostroitel'nogo primeneniya: tez. dok. respubl. nauch.-tekhn. konf.. 29-30 sent. – 1 okt. 1983 g. – Kharkov. 1983. – C. 175-176.
12. Formirovaniye dinamicheskoy sistemy stenda dlya ispytaniya transmissiy na etape proyektirovaniya / Z.A. Godzhayev, V.V. Shekhovtsov, M.V. Lyashenko, V.K. Merlyak, M.V. Filippov // Traktory i sel'khoz mashiny. – 2021. – № 4. – C. 22-32. – DOI: 10.31992/0321-4443-2021-4-22-32.
13. Godzhayev. Z.A. Sovremennyye konstruktorsko-tekhnologicheskkiye metody sozdaniya i ispytaniy mobilnykh transportnykh sredstv / Z.A. Godzhayev, V.V. Shekhovtsov // Izvestiya VolgGTU. Seriya "Nazemnyye transportnyye sistemy". Vyp. 4: mezhvuz. sb. nauch. st. / VolgGTU. – Volgograd. 2011. – № 12. – C. 5-8.
14. K razrabotke metodiki uskorennykh stendovyykh ispytaniy transmissiy sel'skokhozyaystvennykh traktorov / I.V. Khodes, E.I. Tesker, V.V. Shekhovtsov, VI.P. Shevchuk, A.O. Kulikov // Osnovnyye napravleniya ekonomii i ratsionalnogo ispolzovaniya metalla v avtotraktorostroyenii: tez. dokl. vsesoyuz. nauch.-tekhn. konf. (18-19 okt.) / Chelyabinsk. filial NATI [i dr.]. – Chelyabinsk. 1984. – C. 182-184.
15. Khodes. I.V. Stendovoye oborudovaniye dlya ispytaniya transmissiy traktorov / I.V. Khodes, V.V. Shekhovtsov, VI.P. Shevchuk // Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny. – 1988. – № 7. – C. 10 – 13.
16. Stendovoye oborudovaniye dlya ispytaniy silovykh peredach traktorov / V.V. Shekhovtsov. I.V. Khodes, VI.P. Shevchuk, N.S. Sokolov-Dobrev, K.V. Shekhovtsov, E.V. Klementyev // Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii. – 2013. – № 1. – C. 36-40.
17. Khodes. I.V. Razrabotka stendovogo oborudovaniya i nekotoryye rezultaty ispytaniy traktornykh transmissiy v rezhime peremennykh nagruzok / I.V. Khodes. V.V. Shekhovtsov. VI.P. Shevchuk // Nesushchaya sposobnost i kachestvo zubchatykh peredach i reduktorov mashin: tez. dokl. vsesoyuz. nauch.-tekhn. konf. (g. Alma-Ata. sent. 1985 g.) / Nauch.-tekhn. obshchestvo mashinostroitel. prom-sti [i dr.]. – M., 1985. – Ch. II. – C. 50-51.
18. Merlyak. V.K. Trebovaniya k nagruzhatelyam stendov dlya ispytaniya transmissiy / V.K. Merlyak // XXV Regionalnaya konferentsiya molodykh uchenykh i issledovateley Volgogradskoy oblasti (g. Volgograd. 24–27 noyab. 2020 g.): sb. materialov konf. / redkol.: S. V. Kuzmin (otv. red.) [i dr.]; VolgGTU. – Volgograd. 2021. – C. 41-42.
19. Nagruzhayushchiye ustroystva ispytatelnykh stendov / Z.A. Godzhayev, V.V. Shekhovtsov, M.V. Lyashenko, V.K. Merlyak, N.V. Filippov // Avtomobilnaya promyshlennost. – 2021. – № 8. – C. 33-40.
20. Shekhovtsov. V.V. Upravleniye dinamicheskimi svoystvami silovykh peredach stendov / V.V. Shekhovtsov // Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny. – 1997. – № 11. – C. 32 – 35.
21. A.s. 1422050 (SSSR). MKI G 01 M 13/02. Stend dlya ispytaniya vedushchikh mostov transportnykh sredstv / I.V. Khodes, V.V. Shekhovtsov, A.A. Skopp; VolgPI. № 4190611/31-11; Zayavl. 04.02.87; Opubl. 07.09.88; Byul. № 33 // Otkrytiya. Izobreteniya. 1988, № 33. S. 162-163.
22. A.s. 1422048 (SSSR). MKI G 01 M 13/02. Stend s zamknutym silovym konturom dlya ispytaniya agregatov transmissii transportnykh sredstv / I.V. Khodes, V.V. Shekhovtsov; VolgPI. № 4190609/31-11; Zayavl. 04.02.87; Opubl. 07.09.88; Byul. № 33 // Otkrytiya. Izobreteniya. 1988, № 33. S. 162.
23. A.s. 1422049 (SSSR). MKI G 01 M 13/02. Stend dlya ispytaniya motorno-transmissionnoy ustanovki transportnogo sredstva // I.V. Khodes, V.V. Shekhovtsov, A.A. Skopp; VolgPI. № 4190610/31-11; Zayavl. 04.02.87; Opubl. 07.09.88; Byul. № 33 // Otkrytiya. Izobreteniya. 1988, № 33. S. 162.

24. A.s. 1472786 (SSSR). MKI G 01 M 13/02. Stend dlya ispytaniya motorno-transmissionnoy ustanovki transportnogo sredstva /I.V. Khodes, V.V. Shekhovtsov, A.A Skopp; VolgPI. № 4211515/31-11; Zayavl. 16.03.87; Opubl. 15.04.89; Byul. № 14 // Otkrytiya. Izobreteniya. 1989, № 14. S. 181-182.

25. Pat. № 2102715. G 01 M 13/02. 17/00. Stend dlya ispytaniya motorno-transmissionnoy ustanovki transportnogo sredstva / Shekhovtsov V.V. № 96113549/28; Zayavleno 01.07.96; Opubl. 20.01.98. Byul. № 2. – 14 s.

**Godzhaev Zakhid Adygezalovich**  
doctor in technical science, professor,  
Corresponding Member of RAS, vice  
director of FSBSI FSAC VIM,  
109428, Russia, Moscow, 1st  
Institutsky proezd, 5, tel (499)171-43-  
49,  
fic51@mail.ru

**Shekhovtsov Viktor Viktorovich**  
doctor in technical science,  
professor, professor of “Vehicles  
and engines» department,  
Volgograd state technical  
university,  
400005, RF, Volgograd, Lenin ave.  
28, tel. (8442) 24-81-62,  
shehovtsov@vstu.ru

**Liashenko Mikhail Volfredovich**  
doctor in technical science,  
professor, professor of “Vehicles  
and engines» department,  
Volgograd state technical university,  
400005, RF, Volgograd, Lenin ave.  
28, tel. (8442) 24-81-62,  
tslmv@vstu.ru

**Merliak Viacheslav Konstantinovich**  
postgraduate student at “Vehicles and  
engines» department, Volgograd state  
technical university,  
400005, RF, Volgograd, Lenin ave. 28,  
tel. (8442) 24-81-62,  
slava.merlyak@yandex.ru

**Potapov Pavel Viktorovich**  
candidate of technical science,  
docent at «Vehicles and engines»  
department, Volgograd state  
technical university,  
400005, RF, Volgograd, Lenin ave.  
28, tel. (8442) 24-81-62,  
pvicpotapov@gmail.com

© Годжаев З.А., Шеховцов В.В., Ляшенко М.В., Мерляк В.К., Потапов П.В., 2022

УДК 629.369

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-355-5-176-187

А.А. ШВЕДУНЕНКО, В.В. ШЕХОВЦОВ, М.В. ЛЯШЕНКО, П.В. ПОТАПОВ, А.В. ВАГАНОВ

## **РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ**

**Аннотация.** Лица с ограниченными возможностями передвижения в повседневной жизни сталкиваются с проблемами перемещения как внутри, так и вне помещений. Во многих странах созданы конструкции инвалидных колясок, однако многие из них не приспособлены для перемещения по ступенчатым поверхностям и грунтам с невысокой несущей способностью. С целью попытки решения этой проблемы авторами предложено техническое решение специального транспортного средства с использованием колесно-шагающего движителя, имеющего ряд преимуществ по сравнению с другими типами – в частности, таких, как простота конструкции, более высокая универсальность, экономичность, обеспечение необходимой плавности хода. Конструкция транспортного средства включает в себя корпус с трансмиссией и приводами, колесные движители, систему адаптивной подвески, приводы продольного перемещения сиденья. Для проведения исследований работоспособности ходовой части (редуктор-привод и движитель) разработана трехмерная модель конструкции в среде Solidworks. Исследования движения проводились в подсреде Solidworks Motion. При выполнении испытаний исследовалось перемещение транспортного средства по следующим основным видам поверхностей: наклонная, поверхность с единичным препятствием, ступенчатая поверхность. Для испытаний перемещения по наклонной поверхности был принят уклон, равный 5 градусам. Ходовая часть испытывалась в 2-х режимах: режим повышенной и пониженной передач. При этом транспортное средство по наклонной плоскости перемещалось со скоростями 2,5 и 0,6 км/ч. При испытании ходовой части при перемещении с преодолением препятствий использованы препятствия высотой 50 мм. Транспортное средство преодолевало эти препятствия в 2-х режимах, после 1,7 секунды испытания режим был переключен с пониженной передачи на повышенную. Транспортное средство преодолело препятствие на каждом из 2-х режимов, но при повышенной передаче движение оказалось более плавным. При моделировании перемещения по ступенчатым поверхностям транспортное средство перемещалось по ступеням, размеры которых соответствовали ГОСТ 8717-2016 «Ступени бетонные и железобетонные. Технические условия». Средство преодолевало эти ступени на повышенной передаче с периодическим торможением колеса, упирающегося в ступень. На перемещение по 3-м ступеням было затрачено 10 секунд. Моделирование подтвердило возможности перемещения предложенного технического решения специального транспортного средства с пассажиром по наклонной и ступенчатой поверхностям, а также по поверхности с единичным препятствием. При этом расчеты показали, что оно отличается меньшей металлоемкостью и большей экономичностью по сравнению с прототипом.



**Ключевые слова:** специальное транспортное средство, лица с ограниченными возможностями передвижения, колесно-шагающий движитель, моделирование, наклонная поверхность, поверхность с единичным препятствием, ступенчатая поверхность.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Всемирная организация здравоохранения. [Электронный ресурс] // Инвалидность и здоровье. [сайт]. [2022]. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health> (дата обращения: 24.01.2022).
2. Положение инвалидов. Уровень инвалидизации в Российской Федерации. [Электронный ресурс] // Росстат. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13964> (дата обращения: 24.02.2022).
3. Конева Т.Н. Окружающая среда в структуре качества жизни инвалидов-колясочников // Среднерусский вестник общественных наук. – 2018. – Том 13. – № 2. – С. 50-60.
4. Проблемы инвалидов при передвижении на креслах-колясках в жилом помещении и объектах социальной инфраструктуры / О.Н. Владимирова, Т.Н. Шеломанова, И.Е. Македонова, М.В. Рохманова, О.А. Назаркина // Вестник Всероссийской гильдии протезистов-ортопедов. – 2012. – № 1-2 (47-48). – С. 54-57.
5. Design and development of multi-purpose wheelchair for differently-abled person / S. Ganapathy, J. Charles, D. Magesh, M.M. Ashik, D. Monishraam, S. Anandan // Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR). – 2019. – Vol. 6. – P. 78–82. DOI: 10.6084/m9.jetir.JETIRDF06016.
6. Electric-powered wheelchair with stair-climbing ability / W. Tao, J. Xu, T. Liu // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2017. – Vol. 1. – No. 13. – P. 1–13. DOI: doi.org/10.1177/1729881417721436.
7. N. Eduardo, N. Rodriguez. Advanced mechanics in robotic systems. – London: Springer-Verlag London Limited, 2011. – 110 p. DOI: 10.1007/978-0-85729-588-0.
8. Семикин С.Н. Современные малогабаритные транспортные средства реабилитации граждан с ограниченными физическими возможностями // Технология колесных и гусеничных машин. – 2012. – № 4. – С. 16-21.
9. Муздыбаева А.С., Мырзабекова Д.М., Бтмбаев Э.Т. Разработка усовершенствованной конструкции колесного механизма транспортных колясок // Сборник научных трудов № 8 кафедры "Организация перевозок и управление на транспорте". / ООО "Полиграфический центр КАН". – Омск, 2015. – С. 119-126.
10. Семенов А.Г., Элизов А.Д. Индивидуальный транспорт для лиц с нарушением опорно-двигательного аппарата: некоторые российские национальные особенности // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2015. – № 2. – С. 106-118.
11. Головин М.А., Жавнер В.Л. Вариант компоновки инвалидного кресла-коляски для перемещения по неровным поверхностям // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием. / ФГАОУВО "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого". – СПб., 2017. – С. 11-14.
12. Cox K.R., Marquis C. Patent U.S. 6,484,289. – 2000.
13. Johannesen H.A.I. Patent U.S. 2,742,973. – 1956.
14. Krasowski M., Greer L. Patent U.S. 9,726,268. – 2017.
15. Способ самостоятельного перемещения человека на самоходной коляске по лестнице с поручнями / А.А. Красильщиков, А.Д. Самойлов, А.Г. Семёнов, А.Д. Элизов // Безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 12. – С. 12-16.
16. П. м. 202676 Российская Федерация, МПК А61G 5/06, В62D 57/024 Инвалидная коляска / М.В. Ляшенко, В.В. Шеховцов, П.В. Потапов, А.А. Шведуненко, А.И. Искалиев; ФГБОУ ВО ВолГТУ. – 2021.
17. Шведуненко, А.А. Проработка компоновки и анализ работоспособности ходовой части специального транспортного средства // Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета: тез. докл. / редкол.: С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.]; ВолГТУ. – Волгоград, 2020. – С. 130-131.
18. Потапов, П.В. Специальное транспортное средство для перемещения по ступенчатым поверхностям / П.В. Потапов, А.А. Шведуненко // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2020. – № 4. – С. 78-87.
19. Шведуненко, А.А. Устройство и работа ходовой части транспортного средства, предназначенного для движения по ступенчатым поверхностям / А.А. Шведуненко // Смотр-конкурс научных, конструкторских и технологических работ студентов Волгоградского государственного технического университета (г. Волгоград, 13-17 мая 2019 г.): тез. докл. / редкол.: С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.]; Волгоградский гос. техн. ун-т, Совет СНТО. – Волгоград, 2019. – С. 135-136.
20. Шведуненко, А.А. Стабилизация движения специального транспортного средства за счет продольного смещения / А.А. Шведуненко, А.В. Ваганов // XXVI Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области (г. Волгоград, 16–28 ноября 2021 г.): сб. материалов конф. / редкол.: С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.]; ВолГТУ. – Волгоград, 2022. – С. 48-50.
21. Система стабилизации движения специального транспортного средства / М.В. Ляшенко, В.В. Шеховцов, П.В. Потапов, А.А. Шведуненко // Известия ВолГТУ. Сер. Роботы, мехатроника и робототехнические системы. – Волгоград, 2021. – № 9 (256). – С. 37-41.
22. Шведуненко, А.А. Стабилизация движения по прямой поверхности специального транспортного средства / А.А. Шведуненко // XXV Региональная конференция молодых ученых и исследователей

Волгоградской области (г. Волгоград, 24–27 нояб. 2020 г.): сб. материалов конф. / редкол.: С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.]; ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – С. 47-48.

23. Шведуненко, А.А. Стабилизация движения специального транспортного средства при перемещении по ступенчатым поверхностям / А.А. Шведуненко // Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета (г. Волгоград, 26–30 апреля 2021 г.): тез. докл. / редкол.: С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.]; ВолгГТУ, Отд. координации науч. исследований молодых ученых УНИИ, Общество молодых ученых. – Волгоград, 2021. – С. 114-115.

24. Шеховцов, В.В. Анализ работоспособности системы стабилизации специального транспортного средства для перемещения по ступенчатым поверхностям / В.В. Шеховцов, П.В. Потапов, А.А. Шведуненко // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы междунар. науч.-практ. конф. (г. Пермь, 11–12 ноября 2021 г.) / ФГАОУ ВО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет". – Пермь, 2022. – С. 106-109.

25. Гузнецов В.Н., Журбенко П.А., Бондарева Т.П. SolidWorks 2016. Трехмерное моделирование деталей и выполнение электронных чертежей. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. – 128 с.

26. Ханов Г.В., Тодоров А.Н., Дятлов М.Н. Подготовка моделей механизмов в SolidWorks и их анализ средствами SolidWorks Motion. – Волгоград: Изд-во ВолгГТУ, 2014. – 47 с.

27. Шведуненко, А.А. Структурный анализ ходовой части транспортного средства для перемещения по ступенчатым поверхностям / А.А. Шведуненко // XXIV Региональная конференция молодых учёных и исследователей Волгоградской области (г. Волгоград, 3-6 декабря 2019 г.): сб. материалов конф. / редкол.: С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.]; Комитет образования, науки и молодёжной политики Волгоградской обл., ГБУ ВО «Центр молодёжной политики», Волгоградский гос. технический ун-т. – Волгоград, 2020. – С. 120.

28. Потапов, П.В. Анализ работоспособности специального транспортного средства для перемещения по ступенчатым поверхностям / П.В. Потапов, А.А. Шведуненко // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы междунар. науч.-практ. конф. (г. Пермь, 5–6 ноября 2020 г.) / редкол.: Н. В. Лобов (отв. ред.) [и др.]; ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический ун-т», Механико-технологический факультет, Строительный факультет. – Пермь, 2020. – С. 98-100.

29. Анализ работоспособности трансмиссии специального транспортного средства / М.В. Ляшенко, В.В. Шеховцов, П.В. Потапов, А.И. Искалиев, А.А. Шведуненко // Справочник. Инженерный журнал. – 2021. – № 10. – С. 42-48. – DOI: 10.14489/hb.2021.10.pp.042-048.

**Шведуненко Александр Александрович**  
аспирант кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей»  
Волгоградского государственного  
технического университета, 400005, РФ,  
г. Волгоград, пр-т Ленина, 28, тел.  
(8442) 24-81-62, e-mail:  
sanya9105@list.ru.

**Шеховцов Виктор Викторович**  
доктор технических наук,  
профессор, профессор  
кафедры «Техническая  
эксплуатация и ремонт  
автомобилей» Волгоградского  
государственного  
технического университета,  
400005, РФ, г. Волгоград, пр-т  
Ленина, 28, тел. (8442) 24-81-  
16, shehovtsov@vstu.ru

**Ляшенко Михаил Вольфредович**  
доктор технических наук,  
профессор, заведующий  
кафедрой  
«Техническая эксплуатация и  
ремонт автомобилей»  
Волгоградского  
государственного техниче-  
ского университета, 400005, РФ,  
г. Волгоград, пр-т Ленина, 28,  
тел. (8442) 24-81-62,  
tslmv@vstu.ru

**Потапов Павел Викторович**  
доцент кафедры «Техническая  
эксплуатация и ремонт автомобилей»  
Волгоградского государственного  
технического университета, 400005, РФ,  
г. Волгоград, пр-т Ленина, 28, тел.  
(8442) 24-81-62, pvicpotapov@gmail.com

**Ваганов Артем Владимирович**  
аспирант кафедры  
«Автоматизация  
производственных  
процессов» Волгоградского  
государственного  
технического университета,  
400005, РФ, г. Волгоград, пр-т  
Ленина, 28, тел. (8442) 24-84-  
32, e-mail: vstu3d@gmail.com

---

A.A. SHVEDUNENKO, V.V. SHEKHOVTSOV, M.V. LIASHENKO, P.V. POTAPOV, A.V. VAGANOV

## DEVELOPMENT OF THE SPECIAL VEHICLE FOR PERSONS WITH REDUCED MOBILITY

**Abstract.** *Persons with reduced mobility encounter problems of moving inside and outside buildings in everyday life. Various designs of wheelchairs were created in many countries. But many variants of wheelchairs can't move along*

*step surfaces. Authors propose the scheme of special vehicle with the wheel-walking mover as the way to solve mentioned problem. This mover has some advantages in comparison with other types: design simplicity, higher versatility, efficiency, providing of necessary riding comfort. Structure of vehicle includes casing with transmission and drives, wheels, the adaptive seat suspension, seat longitudinal displacement actuators. Operability of the vehicle chassis (drivetrain and mover) was researched on the base of the 3D-model created in Solidworks software. Research of vehicle motion were performed in subsystem Solidworks Motion. Researches were made for next cases of vehicle moving: on the slope surface, surface with single obstacle, steps. Slope surface had incline equal to 5 degrees. The drivetrain was tested in two modes: low and high gears. At this time vehicle speed during moving on the slope was equal to 2.5 and 0.6 km/h. Moving on the surface with obstacle was researched for obstacles 50 mm height. The vehicle had been overcoming obstacles in two modes: after 1.7 seconds of test time gear were changed from low two high. The vehicle overcame the obstacle in the both modes but moving in the high gear were smoother. The atep surface used in researches was created in accordance with National Standard GOST 8717-2016 "Reinforced concrete and concrete steps. Specifications". The vehicle had been overcoming these steps in high gear along with periodical breaking one of the wheels (the one rests again step wall). Moving along 3 steps took 10 seconds. Researches confirmed operability of proposed special vehicle design during motion on the slope and step surfaces and also on the surface with the single obstacle. Also, calculations show that proposed vehicle design have lower metal consumption and efficiency in comparison with prototype.*

**Keywords:** *special vehicle, persons with reduced mobility, wheel-walking mover, modelling, slope, surface with single obstacle, step surface.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Vsemirnaya organizatsiya zdravookhraneniya. [Elektronnyy resurs] // Invalidnost i zdorovye. [sayt]. [2022]. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health> (data obrashcheniya: 24.01.2022).
2. Polozheniye invalidov. Uroven invalidizatsii v Rossiyskoy Federatsii. [Elektronnyy resurs] // Rosstat. Federalnaya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13964> (data obrashcheniya: 24.02.2022).
3. Koneva T.N. Okruzhayushchaya sreda v strukture kachestva zhizni invalidov–kolyasochnikov // Srednerusskiy vestnik obshchestvennykh nauk. – 2018. – Tom 13. – № 2. – S. 50-60.
4. Problemy invalidov pri peredvizhenii na kreslakh-kolyaskakh v zhilom pomeshchenii i ob'yektakh sotsi-alnoy infrastruktury / O.N. Vladimirova, T.N. Shelomanova, I.E. Makedonova, M.V. Rokhmanova, O.A. Nazarkina // Vestnik Vserossiyskoy gildii protezistov-ortopedov. – 2012. – № 1-2 (47-48). – S. 54-57.
5. Design and development of multi-purpose wheelchair for differently-abled person / S. Ganapathy, J. Charles, D. Magesh, M.M. Ashik, D. Monishraam, S. Anandan // Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR). – 2019. – Vol. 6. – P. 78–82. DOI: 10.6084/m9.jetir.JETIRDF06016.
6. Electric-powered wheelchair with stair-climbing ability / W. Tao, J. Xu, T. Liu // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2017. – Vol. 1. – No. 13. – P. 1–13. DOI: [doi.org/10.1177/1729881417721436](https://doi.org/10.1177/1729881417721436).
7. N. Eduardo, N. Rodriguez. Advanced mechanics in robotic systems. – London: Springer-Verlag London Limited. 2011. – 110 p. DOI: 10.1007/978-0-85729-588-0.
8. Semikin S.N. Sovremennyye malogabaritnyye transportnyye sredstva reabilitatsii grazhdan s ogra-nichennymi fizicheskimi vozmozhnostyami // Tekhnologiya kolesnykh i gusenichnykh mashin. – 2012. – № 4. – S. 16-21.
9. Muzdybayeva A.S., Myrzabekova D.M., Btmbayev E.T. Razrabotka usovershenstvovannoy konstruksii kolesnogo mekhanizma transportnykh kolyasok // Sbornik nauchnykh trudov № 8 kafedry "Organizatsiya perevozok i upravleniye na transporte". / OOO "Poligraficheskiy tsentr KAN". – Omsk. 2015. – S. 119-126.
10. Semenov A.G., Elizov A.D. Individualnyy transport dlya lits s narusheniyem oporno-dvigatel'nogo apparata: nekotoryye rossiyskiye natsionalnyye osobennosti // Transport. Transportnyye sooruzheniya. Ekologiya. – 2015. – № 2. – S. 106-118.
11. Golovin M.A., Zhavner V.L. Variant komponovki invalidnogo kresla-kolyaski dlya peremeshcheniya po nerovnym poverkhnostyam // Nedelya nauki SPbPU: materialy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. / FGAOUVO "Sankt-Peterburgskiy politekhnicheskii universitet Petra Velikogo". – SPb, 2017. – S. 11-14.
12. Cox K.R., Marquis C. Patent U.S. 6.484.289. – 2000.
13. Johannesen H.A.I. Patent U.S. 2.742.973. – 1956.
14. Krasowski M., Greer L. Patent U.S. 9.726.268. – 2017.
15. Sposob samostoyatel'nogo peremeshcheniya cheloveka na samokhodnoy kolyaske po lestnitse s poruchnyami / A.A. Krasilshchikov, A.D. Samoylov, A.G. Semenov, A.D. Elizov // Bezopasnost zhiznedeyatel'nosti. – 2010. – № 12. – S. 12-16.
16. P. m. 202676 Rossiyskaya Federatsiya. MPK A61G 5/06. B62D 57/024 Invalidnaya kolyaska / M.V. Lyashenko, V.V. Shekhovtsov, P.V. Potapov, A.A. Shvedunenko, A.I. Iskaliyev; FGBOU VO VolgGTU. – 2021.
17. Shvedunenko. A.A. Prorabotka komponovki i analiz rabotosposobnosti khodovoy chasti spetsial'nogo transportnogo sredstva // Konkurs nauchno-issledovatel'skikh rabot studentov Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta: tez. dokl. / redkol.: S. V. Kuzmin (otv. red.) [i dr.]; VolgGTU.– Volgograd. 2020. – C. 130-131.
18. Potapov. P.V. Spetsialnoye transportnoye sredstvo dlya peremeshcheniya po stupenchatym poverkhnostyam / P.V. Potapov, A.A. Shvedunenko // Transport. Transportnyye sooruzheniya. Ekologiya. – 2020. – № 4. – C. 78-87.

19. Shvedunenکو. A.A. Ustroystvo i rabota khodovoy chasti transportnogo sredstva. prednaznachennogo dlya dvizheniya po stupenchatym poverkhnostyam / A.A. Shvedunenکو // Smotr-konkurs nauchnykh. konstruktorskikh i tekhnologicheskikh rabot studentov Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (g. Volgograd. 13-17 maya 2019 g.): tez. dokl. / redkol.: S. V. Kuzmin (otv. red.) [i dr.]; Volgogradskiy gos. tekhn. un-t. Sovet SNTO. – Volgograd. 2019. – C. 135-136.

20. Shvedunenکو. A.A. Stabilizatsiya dvizheniya spetsialnogo transportnogo sredstva za schet prodolnogo smeshcheniya / A.A. Shvedunenکو, A.V. Vaganov // XXVI Regionalnaya konferentsiya molodykh uchenykh i issledovateley Volgogradskoy oblasti (g. Volgograd. 16–28 noyabrya 2021 g.): sb. materialov konf. / redkol.: S. V. Kuzmin (otv. red.) [i dr.]; VolgGTU. – Volgograd. 2022. – C. 48-50.

21. Sistema stabilizatsii dvizheniya spetsialnogo transportnogo sredstva / M.V. Lyashenko, V.V. Shekhovtsov, P.V. Potapov, A.A. Shvedunenکو // Izvestiya VolgGTU. Ser. Roboty. mekhatronika i robototekhnicheskiye sistemy. – Volgograd. 2021. – № 9 (256). – C. 37-41.

22. Shvedunenکو. A.A. Stabilizatsiya dvizheniya po pryamoy poverkhnosti spetsialnogo transportnogo sredstva / A.A. Shvedunenکو // XXV Regionalnaya konferentsiya molodykh uchenykh i issledovateley Volgogradskoy oblasti (g. Volgograd. 24–27 noyab. 2020 g.): sb. materialov konf. / redkol.: S. V. Kuzmin (otv. red.) [i dr.]; VolgGTU. – Volgograd. 2021. – C. 47-48.

23. Shvedunenکو. A.A. Stabilizatsiya dvizheniya spetsialnogo transportnogo sredstva pri peremeshchenii po stupenchatym poverkhnostyam / A.A. Shvedunenکو // Konkurs nauchno-issledovatel'skikh rabot studentov Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (g. Volgograd. 26–30 aprelya 2021 g.): tez. dokl. / redkol.: S. V. Kuzmin (otv. red.) [i dr.]; VolgGTU. Otd. koordinatsii nauch. issledovaniy molodykh uchenykh UNiL. Obshchestvo molodykh uchenykh. – Volgograd. 2021. – C. 114-115.

24. Shekhovtsov. V.V. Analiz rabotosposobnosti sistemy stabilizatsii spetsialnogo transportnogo sredstva dlya peremeshcheniya po stupenchatym poverkhnostyam / V.V. Shekhovtsov, P.V. Potapov, A.A. Shvedunenکو // Modernizatsiya i nauchnyye issledovaniya v transportnom komplekse: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Perm. 11–12 noyabrya 2021 g.) / FGAOU VO "Permskiy natsionalnyy issledovatel'skiy politekhnicheskiy universitet". – Perm. 2022. – C. 106-109.

25. Guznenkov V.N., Zhurbenko P.A., Bondareva T.P. SolidWorks 2016. Trekhmernoye modelirovaniye detaley i vypolneniye elektronnykh chertezhey. – M.: Izd-vo MGTU im. N. E. Bauman. 2017. – 128 s.

26. Khanov G.V., Todorev A.N., Dyatlov M.N. Podgotovka modeley mekhanizmov v SolidWorks i ikh analiz sredstvami SolidWorks Motion. – Volgograd: Izd-vo VolgGTU. 2014. – 47 s.

27. Shvedunenکو. A.A. Strukturnyy analiz khodovoy chasti transportnogo sredstva dlya peremeshcheniya po stupenchatym poverkhnostyam / A.A. Shvedunenکو // XXIV Regionalnaya konferentsiya molodykh uchenykh i issledovateley Volgogradskoy oblasti (g. Volgograd. 3-6 dekabrya 2019 g.): sb. materialov konf. / redkol.: S. V. Kuzmin (otv. red.) [i dr.]; Komitet obrazovaniya. nauki i molodezhnoy politiki Volgogradskoy obl. GBU VO «Tsentr molodezhnoy politiki». Volgogradskiy gos. tekhnicheskiy un-t. – Volgograd. 2020. – C. 120.

28. Potapov. P.V. Analiz rabotosposobnosti spetsialnogo transportnogo sredstva dlya peremeshcheniya po stupenchatym poverkhnostyam / P.V. Potapov, A.A. Shvedunenکو // Modernizatsiya i nauchnyye issledovaniya v transportnom komplekse: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Perm. 5–6 noyabrya 2020 g.) / redkol.: N. V. Lobov (otv. red.) [i dr.]; FGBOU VO «Permskiy natsionalnyy issledovatel'skiy politekhnicheskiy un-t». Mekhaniko-tekhnologicheskiy fakultet. Stroitelnyy fakultet. – Perm. 2020. – C. 98-100.

29. Analiz rabotosposobnosti transmissii spetsialnogo transportnogo sredstva / M.V. Lyashenko, V.V. Shekhovtsov, P.V. Potapov, A.I. Iskaliyev, A.A. Shvedunenکو // Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal. – 2021. – № 10. – C. 42-48. – DOI: 10.14489/hb.2021.10.pp.042-048.

**Shvedunenکو Aleksandr Aleksandrovich**  
postgraduate student at «Technical operation and repair of cars» department, Volgograd state technical university, 400005, RF, Volgograd, Lenin ave. 28, tel. (8442) 24-81-62, sanya9105@list.ru.

**Shekhovtsov Viktor Viktorovich**  
doctor in technical science, professor, professor of «Technical operation and repair of cars» department, Volgograd state technical university, 400005, RF, Volgograd, Lenin ave. 28, tel. (8442) 24-81-62, shehovtsov@vstu.ru

**Liashenko Mikhail Volfredovich**  
doctor in technical science, professor, professor of «Technical operation and repair of cars» department, Volgograd state technical university, 400005, RF, Volgograd, Lenin ave. 28, tel. (8442) 24-81-62, tslmv@vstu.ru

**Potapov Pavel Viktorovich**  
candidate of technical science, docent at «Technical operation and repair of cars» department, Volgograd state technical university, 400005, RF, Volgograd, Lenin ave. 28, tel. (8442) 24-81-62, pvcipotapov@gmail.com

**Vaganov Artyom Vladimirovich**  
postgraduate student at «Automation of production processes» department, Volgograd state technical university, 400005, RF, Volgograd, Lenin ave. 28, tel. (8442) 24-81-62, vstu3d@gmail.com

Е.В. БУРКОВА, Д.В. БУРКОВ

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРЁХКАСКАДНЫХ ГЕЛИОСТАНЦИЙ ДЛЯ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

**Аннотация.** В работе даётся сравнительная оценка тепловой эффективности однокаскадных и трёхкаскадных гелиоустановок для сезонного горячего водоснабжения и методология их расчета. Производится сравнение площадей гелиополя однокаскадной и трёхкаскадной гелиоустановок при одинаковых начальных условиях, а также приводится экономическое преимущество при строительстве трехкаскадных гелиоустановок взамен однокаскадных при одинаковых метеорологических условиях внешней среды.

**Ключевые слова:** солнечная энергия, традиционные энергоносители, система солнечного теплоснабжения, каскадные гелиоустановки, горячее водоснабжение.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В.М. Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии / В.М. Андреев // Соросовский образовательный журнал, 1996. – №7. – С. 93-98.
2. Установки солнечного горячего водоснабжения. Нормы проектирования. ВСН 52-86/ Госгражданстрой. – М.: Стройиздат, 1988.
3. Макаров В.В., Горбатов О.И. К вопросу создания каскадных гелиоустановок для сезонного ГВС// Возобновляемая энергетика. – 2010. – №4.
4. Даффи Дж.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. / Дж.А. Даффи, У.А. Бекман. – М.: Мир, 1977. – 420 с.
5. Солнечная энергетика в Крыму: методическое пособие для специалистов и всех интересующихся проблемами использования солнечной энергии / под редакцией В.А. Бокова, В.У. Стоянова. – Киев – Симферополь, 2008. – 201 с.

**Буркова Елена Викторовна**  
Севастопольский государственный университет, г.  
Севастополь  
Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Техногенная безопасность и метрология»  
E-mail: lena1b@mail.ru

**Бурков Дмитрий Валериевич**  
Севастопольский государственный университет, г.  
Севастополь  
Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Энергоустановки морских судов и сооружений»  
E-mail: dv.burkov@mail.ru

E.V. BURKOVA, D.V. BURKOV

## EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THREE-STAGE SOLAR STATIONS FOR HOT WATER SUPPLY

**Abstract.** The paper provides a comparative assessment of the thermal efficiency of single-stage and three-stage solar installations for seasonal hot water supply and the methodology of their calculation. A comparison is made of the heliopolis areas of single-stage and three-stage solar installations under the same initial conditions, and an economic advantage is also given in the construction of three-stage solar installations instead of single-stage ones under the same meteorological environmental conditions.

**Keywords:** solar energy, traditional energy carriers, solar heat supply system, cascade solar installations, hot water supply.

### BIBLIOGRAPHY

1. Andreev V.M. Photovoltaic conversion of solar energy / V.M. Andreev // Soros Educational Journal, 1996. – No. 7. – pp. 93-98.
2. Installations of solar hot water supply. Design standards. VSN 52-86/ Gosgrazhdanstroy. – M.: Stroyizdat, 1988.
3. Makarov V.V., Gorbatykh O.I. On the issue of creating cascade solar installations for seasonal hot water// Renewable energy. – 2010. – №4.
4. Duffy J.A. Thermal processes using solar energy. / J.A. Duffy, W.A. Beckman. – M.: Mir, 1977. – 420 p.
5. Solar energy in the Crimea: a methodological guide for specialists and anyone interested in the problems of using solar energy / edited by V.A. Bokov, V.U. Stoyanov. – Kiev – Simferopol, 2008. – 201 p.

**Burkova Elena Viktorovna**

**Burkov Dmitiy Valerievich**

Sevastopol State University, Sevastopol  
Ph.D., associate professor of the Department  
«Technogenic safety and metrology»  
E-mail: lena1b@mail.ru

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

© Буркова Е.В., Бурков Д.В., 2022

УДК 621.951

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-355-5-194-198

А.В. НЕМЕНКО, М.М. НИКИТИН

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ СВЕРЛЕНИЯ ГЛУХОГО ОТВЕРСТИЯ ПО НАПРЯЖЕНИЯМ В ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ДЕТАЛИ

**Аннотация.** Предложен алгоритм управления процессом сверления глухого отверстия на основе измерения нормальных и касательных напряжений на внешней поверхности обрабатываемого изделия. В качестве критерия допустимости режима сверления рассматривается модуль комплекснозначного интеграла от снимаемого сигнала с системы датчиков, величина которого представляется в качестве меры степени трещинообразования при обработке. Для осуществления управляющего воздействия этот функционал сравнивается с допустимыми значениями, получаемыми при нормировке, после чего схема может применяться на типовых изделиях, обладающих вариациями характеристик материала.

**Ключевые слова:** Сверление, спиральные свёрла, черновое сверление, нормальные напряжения, касательные напряжения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лакирев С.Г. Обработка отверстий. Справочник/С.Г. Лакирев. – М.: Машиностроение, 1984. – 208 с.
2. Уткин Н.Ф. Сверление глубоких отверстий. /Н.Ф. Уткин, Ю.И. Кижняев, С.К. Плужников, А.А. Шаманин, Ф. М. Дроздов. Под общ. ред. Н.Ф. Уткина – Л.: Машиностроение, 1988. – 269с.
3. Михеев А. В., Албагачиев А. Ю., Керопян А. М. Автоматизированный контроль температуры при сверлении //Автоматизация и измерения в машино-приборостроении. – 2018. – №. 2. – С. 97-103.
4. Ишбулатов А. Р., Кузнецова Н. Д. Анализ системы автоматического управления режимом сверления //ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НАУКИ И ОБЩЕСТВА: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ. – 2017. – С. 141-144.
5. Лаврентьев М.А. Методы теории функций комплексного переменного/М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат – М.: Наука, 1987. – 688 с.
6. Nikolai Gorbushin, Victor A. Eremeyev, Gennady Mishuris. On stress singularity near the tip of a crack with surface stresses. International Journal of Engineering Science, 2020, V. 146 1 #103183
7. Неменко А.В. Прогнозная оценка параметров теплового поля судовой энергетической установки/ А.В. Неменко, М.М. Никитин// Вестник СевНТУ. Сер. Механика, энергетика, экология: сб. науч. тр. – Севастополь, 2014. – вып. 148 – с. 207 – 210.

**Неменко Александра Васильевна**  
ФГАОУ «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Цифровое проектирование»  
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33  
Тел. +79788330519  
E-mail: valesan@list.ru

**Никитин Михаил Михайлович**  
ФГАОУ «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь  
Старший преподаватель кафедры «Высшая математика»  
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33  
Тел. +79788150316  
E-mail: m.nikitin.1979@gmail.com

A.V. NEMENKO, M.M. NIKITIN

## CONTROL OF THE BLIND HOLE DRILLING PROCESS BY STRESSES IN THE PROCESSED PART

**Abstract.** An algorithm for controlling the process of drilling a blind hole based on the measurement of normal and shear stresses on the outer surface of the workpiece is proposed. As a criterion for the admissibility of the drilling mode, the module of the complex-valued integral of the signal taken from the sensor system is considered, the value of which is presented as a measure of the degree of cracking during processing. To implement the control action, this functional is compared with the allowable values obtained during normalization, after which the scheme can be applied to typical products with variations in material characteristics.

**Keywords:** Drilling, twist drills, rough drilling, normal stresses, shear stresses.

### BIBLIOGRAPHY

1. Lakirev S.G. Obrabotka otverstij. Spravochnik/S.G. Lakirev. – M.: Mashinostroenie, 1984. – 208 s.
2. Utkin N.F. Sverlenie glubokih otverstij. /N.F. Utkin, Ju.I. Kizhnjaev, S.K. Pluzhnikov, A.A. Shamanin, F. M. Drozdov. Pod obshh. red. N.F. Utkina – L.: Mashinostroenie, 1988. – 269s.
3. Miheev A. V., Albagachiev A. Ju., Keropjan A. M. Avtomatizirovannyj kontrol' temperatury pri sverlenii //Avtomatizacija i izmerenija v mashino-priborostroenii. – 2018. – № 2. – S. 97-103.
4. Ishbulatov A. R., Kuznecova N. D. Analiz sistemy avtomaticheskogo upravlenija rezhimom sverlenija //VZAIMODEJSTVIE NAUKI I OBSHHESTVA: PROBLEMY I PERSPEKTIVY. – 2017. – S. 141-144.
5. Lavrent'ev M.A. Metody teorii funkcion kompleksnogo peremennogo/M.A. Lavrent'ev, B.V. Shabat – M.: Nauka, 1987. – 688 s.
6. Nikolai Gorbushin, Victor A. Eremeyev, Gennady Mishuris. On stress singularity near the tip of a crack with surface stresses. International Journal of Engineering Science, 2020, V. 146 1 #103183
7. Nemenko A.V. Prognoznaja ocenka parametrov teplovoego polja sudovoj jenergeticheskoy ustanovki/ A.V. Nemenko, M.M. Nikitin// Vestnik SevNTU. Ser. Mehanika, jenergetika, jekologija: sb. nauch. tr. – Sevastopol', 2014. – vyp. 148 – s. 207 – 210.

#### **Nemenko Alexandra Vasilyevna**

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

#### **Nikitin Mikhail Mikhailovich**

FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol  
Senior lecturer of chair «Higher Mathematics»  
Universitetskaya st, 33, Sevastopol, Russian Federation,  
299053  
Phone +79788150316  
E-mail: m.nikitin.1979@gmail.com

© Неменко А.В., Никитин М.М., 2022

УДК 621.224

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-355-5-199-207

Е.В. ГЕОРГИЕВСКАЯ

## **ПРЕИМУЩЕСТВА ВЕКТОРНОГО АНАЛИЗА ПРИ ОЦЕНКЕ ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОАГРЕГАТОВ**

**Аннотация.** *Нормированию вибрационного состояния гидроагрегатов уделяется много внимания. Однако существующие отраслевые нормы оценки вибрации не всегда оказываются эффективными при постановке технического диагноза. Переход от оценки общего широкополосного сигнала к векторному представлению его гармоник открывает широкие возможности для получения большего объема информации из того же объема исходных данных, формируемых системой вибромониторинга. Это позволит повысить эффективность систем вибродиагностики без расширения аппаратной базы. В статье представлены примеры обработки данных, отмечены основные преимущества векторного анализа при оценке вибрационного состояния гидроагрегатов и перспективы его внедрения в системы вибродиагностики.*

**Ключевые слова:** *гидроагрегат, вибрационные параметры, биение вала, векторная диаграмма, вибромониторинг, подшипник*

*Представленные в статье материалы получены в рамках выполнения научно-исследовательских работ по грантам Фонда содействия инновациям № 3288ГС1/55639 от 27.11.2019 и № 4373ГС2/55639 от 01.12.202 при технической и финансовой поддержке Фонда Сколково.*

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Скворцов О.Б. Перспективы развития нормативной базы и расширения вибрационного мониторинга роторного оборудования // Электрические станции. – 2017. – № 8. – С. 46-53.
2. Иванченко И. П., Прокопенко А. Н. Анализ систем мониторинга и диагностики технического состояния гидротурбин // Гидротехника. – 2011. – № 2. – С. 24-30.
3. СТО РусГидро 02.02.106-2019 Гидроагрегаты. Автоматизированный мониторинг и диагностирование. Функциональные и технические требования
4. Ассоциация «Гидроэнергетика России»: Семинар по вопросам определения допустимых значений вибрационного состояния гидроагрегатов и разработки нормативных документов по вопросам выбора уставок (алгоритмов) систем вибрационного контроля ГА ГЭС. 15.11.2019 г., г. Санкт-Петербург. Режим доступа: [http://hydropower.ru/news/detail.php?ELEMENT\\_ID=6950&sphrase\\_id=204](http://hydropower.ru/news/detail.php?ELEMENT_ID=6950&sphrase_id=204) (дата обращения – 12.04.2020)
5. Палумбо В.М., Прокопенко А.Н., Смелков Л.Л. Проблемы нормирования вибраций гидроагрегатов // Гидротехническое строительство. – 2002. – № 7. – с.13-15.
6. Долматов Е.Н., Ильин С.Я., Никифоров А.П., Пылёв И.М. Основные положения виброконтроля и нормирования вибраций гидротурбинного оборудования // Гидротехника. – 2015. – №1. – С. 58-61.

7. Коган Ф.Л. К вопросу о причинах аварии 17 августа 2009 г. и достоверности контроля вибрационного состояния гидроагрегата Саяно-Шушенской ГЭС // Гидротехническое строительство. – 2015. – № 1. – С. 42-46.
8. Георгиевская Е.В. От вибромониторинга – к вибродиагностике гидроагрегатов // Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов. – 2022. – № 1.
9. Georgievskaja E. Destruction of the hydraulic unit shaft: Why it is possible? // Forces in Mechanics. – 2021. – Т. 4. – С. 100026. DOI: 10.1016/j.finmec.2021.100026
10. Владиславлев Л.А. Вибрация гидроагрегатов гидроэлектрических станций. – М.: Энергия. – 1972. – 176 с.

**Георгиевская Евгения Викторовна**

ООО «Центр конструкторско-технологических инноваций»

Кандидат физико-математических наук

Директор по науке Адрес: 197022, Санкт-Петербург, наб. реки Карповки д. 5 лит. Я

Тел. +7(921)971-64-43

E-mail: sciencedir@cdti.ru

---

E.V. GEORGIEVSKAIA

**BENEFITS OF VECTOR ANALYSIS IN ASSESSING THE VIBRATION STATE OF HYDRAULIC UNITS**

**Abstract.** *Much attention is paid to the standardization of the vibration state of hydraulic units. However, the existing industry standards of vibration assessment are not always effective in making a technical diagnosis. Transition from estimation of the general broadband signal to the vector representation of its harmonics opens wide opportunities for obtaining more information from the same amount of initial data formed by the vibration monitoring system. It will increase the efficiency of vibrodiagnostic systems without expanding the hardware base. This article presents examples of data processing, notes the main benefits of vector analysis in assessing the vibration state of hydraulic units and the prospects for its implementation in vibrodiagnostic systems.*

**Keywords:** *hydraulic unit, vibration parameters, relative vibration, vector diagram, vibration monitoring, bearing.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Skvorcov O.B. Perspektivy razvitiya normativnoj bazy i rasshireniya vibracionnogo monitoringa rotornogo oborudovaniya // Elektricheskie stancii. – 2017. – № 8. – С. 46-53.
2. Ivanchenko I. P., Prokopenko A. N. Analiz sistem monitoringa i diagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniya gidroturbin // Gidrotekhnika. – 2011. – № 2. – С. 24-30.
3. STO RusGidro 02.02.106-2019 Gidroagregaty. Avtomatizirovannyj monitoring i diagnostirovanie. Funkcional'nye i tekhnicheskie trebovaniya
4. Associaciya «Gidroenergetika Rossii»: Seminar po voprosam opredeleniya dopustimyh znachenij vibracionnogo sostoyaniya gidroagregatov i razrabotki normativnyh dokumentov po voprosam vybora ustavok (algoritmov) sistem vibracionnogo kontrolya GA GES. 15.11.2019 g., g. Sankt-Peterburg. Rezhim dostupa: [http://hydropower.ru/news/detail.php?ELEMENT\\_ID=6950&sphrase\\_id=204](http://hydropower.ru/news/detail.php?ELEMENT_ID=6950&sphrase_id=204) (data obrashcheniya – 12.04.2020)
5. Palumbo V.M., Prokopenko A.N., Smelkov L.L. Problemy normirovaniya vibracij gidroagregatov // Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo. – 2002. – № 7. – s.13-15.
6. Dolmatov E.N., Il'in S.YA., Nikiforov A.P., Pylyov I.M. Osnovnye polozheniya vibrokontrolya i normirovaniya vibracij gidroturbinnogo oborudovaniya // Gidrotekhnika. – 2015. – №1. – С. 58-61.
7. Kogan F.L. K voprosu o prichinah аварии 17 avgusta 2009 g. i dostovernosti kontrolya vibracionnogo sostoyaniya gidroagregata Sayano-SHushenskoj GES // Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo. – 2015. – № 1. – С. 42-46.
8. Georgievskaya E.V. Ot vibromonitoringa – k virodagnostike gidroagregatov // Sovremennye metody tekhnicheskoy diagnostiki i nerazrushayushchego kontrolya detalей i uzlov. – 2022. – № 1.
9. Georgievskaja E. Destruction of the hydraulic unit shaft: Why it is possible? // Forces in Mechanics. – 2021. – Т. 4. – С. 100026. DOI: 10.1016/j.finmec.2021.100026
10. Vladislavlev L.A. Vibraciya gidroagregatov gidroelektricheskikh stancij. – М.: Energiya. – 1972. – 176 с.

**Georgievskaja Evgeniia Viktorovna**

Center of design and technological innovation» LLC

Ph.D. (Physical&Matemtical Sciences) Director for Science

197022, Saint-Petersburg Nab. reki Karpovki, d. 5, str. YA

Tel. +7(921)971-64-43

E-mail: sciencedir@cdti.ru



*Адрес издателя:*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»  
302026, Орловская область, 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, Орловская область, г. Орел, ул. Московская, 34  
+7 (905) 169 88 99

<https://oreluniver.ru/science/journal/fipptt>  
E-mail: [radsu@rambler.ru](mailto:radsu@rambler.ru)

Материалы статей печатаются в авторской редакции

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 14.10.2022 г.  
Дата выхода в свет 28.10.2022 г.  
Формат 70X108/16. Усл. печ. л. 13  
Цена свободная. Тираж 1000 экз.  
Заказ №181

Отпечатано с готового оригинал-макета  
на полиграфической базе ОГУ имени И.С. Тургенева  
302026, Орловская область, г. Орёл, ул. Комсомольская, д. 95