

ISSN 2073-7408

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ  
И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**5 (349) 2021**

## 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)  
Голенько 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)  
Зубчиных 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)  
Мулюкин О.П. д-р техн. наук, проф. (Россия)  
Осадчий В.Я. д-р техн. наук, проф. (Россия)  
Пилипенко О.В. д-р техн. наук, проф.  
(Россия)  
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)  
Создаткин В.М. д-р техн. наук, проф. (Россия)  
Старовойтов Э.И. д-р физ.-мат. наук, проф.  
(Беларусь)  
Степанов Ю.С. д-р техн. наук, проф. (Россия)  
Хейфец М.Л. д-р техн. наук, проф. (Беларусь)

Ответственный секретарь:  
Тюхта А.В. канд. техн. наук

## Адрес редакции

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

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

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

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2021

## Содержание

### Колонка главного редактора

Поздравление с 85-летием д.т.н., профессора Смоленцева Владислава Павловича..... 3

### Теоретическая механика и ее приложения

Попов И.П. Отвесное падение тела..... 4  
Ефремова Е.А., Ковальский Б.И., Безбородов Ю.Н., Олейник В.З. Результаты исследования  
влияния процессов окисления на вязкостно-температурные характеристики частично  
синтетических моторных масел ..... 9

### Механика деформируемого твердого тела, динамика и прочность

Сафина Г.Ф. Сохранение частот колебаний балки с основанием изменением жесткостей  
пружин кручения ее шарнирных опор..... 15  
Лазуткин Г.В., Бояров К.В., Антипов В.А., Береснев В.Л., Назарова Н.В. Характерные случаи  
ударного нагружения виброзащитных систем агрегатов и узлов транспортных средств..... 22  
Лазуткин Г.В., Давыдов Д.П., Бояров К.В., Антипов В.А., Довгий В.А. Исследование  
околорезонансных режимов вынужденных колебаний виброзащитных систем с  
конструкционным демпфированием при гармоническом возбуждении..... 30

### Машиностроительные технологии и оборудование

Куц В.В., Гречухин А.Н., Олещицкий А.В., Привалов А.С., Шербаков П.С. Алгоритм деления  
объемной модели на криволинейные слои для 3D-печати..... 39  
Смоленцев Е.В., Яценко С.Н., Кондратьев М.В., Грицюк В.Г., Крохин Д.Е. Сравнительные  
преимущества метода обратного точения с точки зрения конечно-элементного анализа..... 46  
Васильев А.А. Влияние количества карманов вкладыша гидростатической опоры с  
неполным углом обхвата на статические и динамические характеристики..... 52

### Машиноведение и мехатроника

Абдулин Р.Р., Подшибнев В.А., Самсонович С.Л. Определение коэффициента неравномерности  
между рядами тел качений в волновой передаче с промежуточными телами качения..... 58  
Бондаренко М.Э., Сытин А.В., Токмаков Н.В., Родичева И.В. Динамическая модель ротора на  
упорных лепестковых подшипниках микротурбин..... 68  
Корнаев А.В., Казаков Ю.Н. Подшипник скольжения с изменяемой геометрией зазора:  
расчет гидродинамических сил..... 74  
Савин Л.А., Козырев Д.Л., Горин А.В. Управляемый демпфер сухого трения как элемент  
мехатронной системы ..... 83  
Родичев А.Ю., Поляков Р.Н., Горин А.В., Токмакова М.А. Исследование характеристик  
лепесткового подшипника с пленочным антифрикционным покрытием..... 88  
Корнаев А.В., Савин Л.А., Казаков Ю.Н. Подшипник скольжения с изменяемой геометрией  
зазора: моделирование системы управления..... 95

### Приборы, биотехнические системы и технологии

Русский А.В. Комплекс программно-аппаратных средств автоматизации процессов  
швейного производства..... 103  
Суржик Д.И., Кузичкин О.Р., Васильев Г.С., Баклин М.Д., Панькина Е.С. Регистрация геодинимических  
процессов фазометрическим методом в системах локального геоэкологического мониторинга ..... 109  
Панькина Е.С., Дорофеев Н.В. Алгоритм коррекции модели геотехнической системы..... 119

### Контроль, диагностика, испытания и управление качеством

Марков Н.А. Информационно-измерительная система мониторинга резервного времени  
сохранения сознания пассажирами воздушных судов в высотном полете..... 126  
Суржик Д.И., Кузичкин О.Р., Васильев Г.С., Баклин М.Д., Панькина Е.С. Обнаружение утечек нефтепродуктов  
на объектах агропромышленного комплекса на основе фазометрических геоэлектрических систем..... 132  
Гусеница Я.Н., Ширямов О.А., Бурый Д.С. Алгоритм моделирования спектрального  
коэффициента прозрачности атмосферы в инфракрасном диапазоне длин волн при  
аэронаблюдении наземных объектов на основе интерполяции эмпирических данных..... 141

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

Неменко А.В., Никитин М.М. Диагностика ранней стадии усталости вращающихся деталей машин... 151  
Годжаев З.А., Шеховцов В.В., Ляшенко М.В., Искалиев А.И., Энрикес Ш.Я.Э. Снижение  
динамической нагруженности трансмиссии тягово-транспортного средства за счет  
элемента с управляемыми упруго-диссипативными свойствами..... 157  
Годжаев З.А., Шеховцов В.В., Ляшенко М.В., Искалиев А.И., Потапов П.В. Стенд для  
испытаний виброизоляторов кабины транспортного средства ..... 165  
Варминская Н.И. Влияние погрешностей исходных параметров на управляемое движение объекта... 174  
Харченко А.О., Новоселов Ю.К., Харченко А.А. Выработка критерия эффективности при  
оптимизации структур станочных модулей..... 182  
Вожжов А.А. Модель точения фасонных поверхностей с оппозитным размещением резцов..... 187  
Аблаев А.Р., Аблаев Р.Р. Оценка тепловой эффективности при проектировании  
теплообменных аппаратов систем обеспечения теплового режима энергоустановок..... 193

## 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)

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

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

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

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

**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.I.** Doc. Sc. Ph. – Math., Prof. (Belarus)

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

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

Executive secretary:

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

Address

302030, Oryol, st. Moskovskaya, 34

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

http://oreluniver.ru

E-mail: radsu@rambler.ru

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

Index on the catalogue of the  
«Pressa Rossii» 29504

© Orel State University, 2021

## Contents

### Editors Note

**Congratulations on the 85th anniversary of Doc. Sc. Tech., Prof. Vladislav Pavlovich Smolentsev** 3

### Theoretical mechanics and its applications

**Popov I.P. Spear body fall**..... 4  
**Efremova E.A., Kovalsky B.I., Bezborodov Yu.N., Oleinik V.Z. Results of the study of the influence of oxidation processes on the viscosity-temperature characteristics of partially synthetic motor oils**..... 9

### Mechanics of deformable solids, dynamics and strength

**Safina G.F. Maintaining oscillation frequencies of beam with base by changing torsion spring stiffness its hinge supports**..... 15  
**Lazutkin G.V., Boyarov K.V., Antipov V.A., Beresnev V.L., Nazarova N.V. Typical cases of shock loading of vibration-proof systems of aggregates and components of vehicles**..... 22  
**Lazutkin G.V., Davydov D.P., Boyarov K.V., Antipov V.A., Dovygiy V.A. Investigation of near-resonant modes of forced vibrations of vibration-proof systems with structural damping under harmonic excitation**..... 30

### Machine-building technologies and equipment

**Kuts V.V., Grechukhin A.N., Oleshitsky A.V., Privalov F.S., Shcherbakov P.S. Algorithm for dividing a volume model into curvilinear layers for 3D printing** ..... 39  
**Smolentsev E.V., Yatsenko S.N., Kondratyev M.V., Gritsyuk V.G., Krokhin D.E. Comparative advantages of reverse turning method from the point of view of finite element analysis**..... 46  
**Vasiliev A.A. Influence of number of the hydrostatic bearings with an incomplete range angle pockets on static and dynamic characteristics** ..... 52

### Machine Science and Mechatronics

**Abdulin R.R., Podshibnev V.A., Samsonovich S.L. Determining load distribution unevenness ratio between rows of rolling bodies in harmonic gear with intermediate rolling bodies**..... 58  
**Bondarenko M.E., Sytin A.V., Tokmakov N.V., Rodicheva I.V. Justification of the design sequence combined supports with variable characteristics** ..... 68  
**Kornaev A.V., Kazakov Yu.N. Variable clearance slide bearing: calculation of hydrodynamic forces** ..... 74  
**Savin L.A., Kozryev D.L., Gorin A.V. Controlled dry friction damper as an element of a mechatronic system**..... 83  
**Rodichev A.Yu., Polyakov R.N., Gorin A.V., Tokmakova M.A. Study of the characteristics of the flap bearing with film anti-friction coating** ..... 88  
**Kornaev A.V., Savin L.A., Kazakov Yu.N. Variable clearance sliding bearing: simulation of a control system** ..... 95

### Devices, biotechnical systems and technologies

**Ruskin A.V. A set of software and hardware tools for automating sewing production processes**..... 103  
**Surzhik D.I., Kuzichkin O.R., Vasiliev G.S., Baknin M.D., Pankina E.S. Registration of geodynamic processes by the phasometric method in local geocological monitoring systems** ..... 109  
**Pankina E.S., Dorofeev N.V. Algorithm for correcting the geotechnical system model**..... 119

### Monitoring, Diagnostics, Testing and Quality Management

**Markov N.A. Information and measurement system for monitoring the reserve time of consciousness preservation by aircraft passengers in high-altitude flight**..... 126  
**Surzhik D.I., Kuzichkin O.R., Vasiliev G.S., Baknin M.D., Pankina E.S. Detection of oil product leaks at the objects of the agro-industrial complex on the basis of phasometric geoelectric systems** ..... 132  
**Gusenitsa Ya.N., Shiryamov O.A., Buryj D.S. Algorithm for modeling the spectral transparency coefficient of the atmosphere in the infrared wavelength range in aero observation of ground objects based on interpolation of empirical data** ..... 141

### Materials of the international scientific and technical conference

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

**Nemenko A.V., Nikitin M.M. Detection of fatigue cracks early stage in rotating machine parts**..... 151  
**Godzhaev Z.A., Shekhovtsov V.V., Liashenko M.V., Iskaliev A.I., Enriquez S.J.E. Reducing of dynamical load in vehicle transmission by the part with controlled elastic-damping characteristics**..... 157  
**Godzhaev Z.A., Shekhovtsov V.V., Liashenko M.V., Iskaliev A.I., Potapov P.V. Test stand for vibration isolators of vehicle cabin suspension** ..... 165  
**Varminskaya N.I. Influence of initial parameters errors on the controlled object motion**..... 174  
**Kharchenko A.O., Novoselov Yu.K., Kharchenko A.A. Development of efficiency criterion for optimizing the structures of machine units**..... 182  
**Vozhzhov A.A. Turning model for shaped surfaces with opposite cutters**..... 187  
**Ablaev A.R., Ablaev R.R. Evaluation of thermal efficiency when designing heat-exchanging devices of systems for providing thermal regime of power installations**..... 193

### Колонка главного редактора

Поздравляем с 85-летием доктора технических наук, профессора Смоленцева Владислава Павловича

В.П. Смоленцев закончил в 1960 г. Казанский авиационный институт по специальности «Инженер-механик авиационных двигателей». Начало его трудовой деятельности связано Казанским филиалом НИАТ. Его учителями были профессор КАИ Лисов М.И., академик АН МССР, д.т.н., профессор Лазаренко Б.Р., академик АН МССР, д.г.н., профессор Петров Ю.Н., д.т.н., профессор Миль М.Л. и др.

С 1969 по 1979 г. профессор Смоленцев В.П. работал в Казанском химико-технологическом институте им. С.М. Кирова, с 1979 г. многие годы Владислав Павлович - возглавлял кафедру «Технология машиностроения», работал деканом в Воронежском государственном техническом университете.

Под научным руководством профессора Смоленцева В.П. защитили диссертации 10 докторов и 60 кандидатов наук.

Учениками профессора Смоленцева В.П. являются генеральный директор (до 2005 г.) ФГУП ВМЗ д.т.н. профессор, зав. кафедрой, дважды лауреат премии Правительства Часовских А.И., зам. главы администрации Воронежской области Клейменов В.П., директор АО КБХА Ковалев С.В., генеральный директор (до 2000 г.) ГНПП «ТЭХО», зав. кафедрой КГТУ им Туполева, Лауреат премии Р. Г. Садыков З.Б. и многие другие.

Профессор Смоленцев В.П. - автор и соавтор свыше 1000 публикаций, как в России, так и за рубежом. в том числе 25 монографий, четырех учебников, 18 учетных пособий и др. Кроме того, он имеет около 200 авторских свидетельств и патентов.

К основным направлениям его научной деятельности относятся создание технологий и оборудования для электроэрозионной и электрохимической обработки деталей, ремонта летательных аппаратов, а также повышение качества изделий в самолетостроении, разработки средств технологического оснащения производства, устройств для медицинской промышленности. Он является создателем нового научного направления по электрохимической обработке деталей нежесткими электродами. Экономический эффект от внедрения его разработок составил десятки миллионов рублей.

Владислав Павлович занимается научно-организационной работой, является членом Президиума Всероссийского общества изобретателей и рационализаторов. Головного Совета по машиностроению РФ, действительным членом российской академии космонавтики и Международной академии информатики, членом-корреспондентом Академии технологических наук РФ, ученым советником Российской инженерной академии, а также соучредителем и членом Международной ассоциации по чистовой обработке, членом комиссии по машиностроению Польской академии наук. действительным членом национальной академии наук США.

В.П. Смоленцев лауреат премии Правительства РФ, награжден медалями «За доблестный труд», носит почетные звания «Заслуженный работник высшей школы РФ», «Изобретатель СССР», «Заслуженный создатель космической техники РФ» и др.

В.П. Смоленцев является Почетным профессором сразу трех технических вузов России: Орловского государственного университета, Брянского государственного технического университета, Воронежского государственного технического университета.

Коллеги и ученики поздравляют юбиляра и желают ему доброго здоровья, творческих успехов и новых свершений!



## **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ**

УДК 531.32

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-4-8

И.П. ПОПОВ

### **ОТВЕСНОЕ ПАДЕНИЕ ТЕЛА**

**Аннотация.** Задача о скорости, времени и ускорении падения тела на поверхность планеты при отсутствии атмосферы сводится к решению дифференциального уравнения второго порядка, которое решается стандартным методом. Особенностью решения является формальное использование табличного интеграла на промежуточном этапе. Оказалось, однако, что его формула недостоверна, а именно, производная правой части не равна подынтегральному выражению. Из этого следует, что возможные существующие решения этой задачи, основанные на использовании указанного табличного интеграла, являются некорректными. В статье представлена корректировка этого табличного интеграла, что является попутным результатом исследования. В работе получено временное уравнение движения нормально падающего на поверхность планеты тела при отсутствии атмосферы, а также временные уравнения его скорости и ускорения. Полученные результаты могут быть полезны при расчетах падения отработанных элементов конструкций космических аппаратов.

**Ключевые слова:** планета, тело, уравнение движения, скорость, ускорение, масса, расстояние.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. М. Наука. 1977. 872 с.
2. Бермант А.Ф., Араманович И.Г. Краткий курс математического анализа для вузов. М. Наука. 1971. 736 с.
3. Справочник машиностроителя. Под ред. Н.С. Ачеркана. М.: Ред. машиностроительной лит-ры. 1963. 592 с.
4. Распопов В.Я. Силовые гироскопические комплексы в системах стабилизации и управления космических аппаратов. Образовательный аспект // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2014. № 3 (305). С. 127–131.
5. Комаров В.А. Обработка алюминиевых сплавов изделий авиакосмических аппаратов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2014. № 5 (307). С. 98–101.
6. Солдаткин В.М. Модели количественной оценки уровня опасности отказов интегрированного комплекса бортового оборудования // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2011. № 4 (288). С. 8–14.
7. Сотников Н.Н., Кувшинов К.А., Дюсембаев Д.Е. Твердотельное моделирование и исследование узла модуля солнечной энергетики // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2017. № 6 (326). С. 85–95.
8. Попов И.П. Расчетные системы отсчета при относительном движении космических объектов // Инженерная физика. 2019. № 3. С. 40–43.
9. Попов И.П. Системы отсчета в навигации движущихся объектов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2019. Т 20. № 3. С. 189–192.
10. Попов И.П. Электромагнитный маховик для ориентирования орбитальных объектов // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. 2019. № 2. С. 15–17.

#### **Попов Игорь Павлович**

Курганский государственный университет

Старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»

640002, Курган, ул. Томина, 106, кв. 52

8–905–85–28–121

E-mail: ip.popov@yandex.ru

I.P. POPOV

### **SPEAR BODY FALL**

**Abstract.** The problem of the speed, time and acceleration of a body falling on the planets surface in the absence of an atmosphere is reduced to solving a second-order differential equation, which is solved by the standard method. A feature of the solution is the formal use of the tabular integral at an intermediate stage. It turned out, however, that his

*formula is unreliable, namely, the derivative of the right-hand side is not equal to the integrand. It follows from this that the possible existing solutions to this problem, based on the use of the indicated tabular integral, are incorrect. The article presents the correction of this tabular integral, which is an incidental result of the study. In this work, the time equation of motion of a body normally falling on the surface of the planet in the absence of an atmosphere, as well as the time equations of its speed and acceleration are obtained. The results obtained can be useful in calculating the fall of spent structural elements of spacecraft.*

**Keywords:** planet, body, equation of motion, speed, acceleration, mass, distance.

## BIBLIOGRAPHY

1. Vygodskiy M.YA. Handbook of Higher Mathematics. Moscow: Nauka, 1977. 872 s.
2. Bermant A.F., Aramanovich I.G. A short course in mathematical analysis for technical colleges. Moscow: Nauka, 1971. 736 s.
3. Reference book of the machine builder. N.S. Acherkana. Moscow: Red. mashinostroitelnoy lit-ry, 1963. 592 s.
4. Raspopov V.Ya. Power gyroscopic systems in spacecraft stabilization and control systems. Educational aspect // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2014. № 3 (305). S. 127–131.
5. Komarov V.A. Processing of aluminum alloys of aerospace products // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2014. № 5 (307). S. 98–101.
6. Soldatkin V.M. Models for quantitative assessment of the level of danger of failures of an integrated complex of on-board equipment // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2011. № 4 (288). S. 8–14.
7. Sotnikov N.N., Kuvshinov K.A., Dyusembaev D.E. Solar Power Module Solid Modeling and Node Study // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2017. № 6 (326). S. 85–95.
8. Popov I.P. Computational reference systems for the relative motion of space objects // Inzhenernaya fizika. 2019. № 3. S. 40–43.
9. Popov I.P. Reference systems in the navigation of moving objects // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravleniye. 2019. T 20. № 3. S. 189–192.
10. Popov I.P. Electromagnetic flywheel for orientation of orbital objects // Oboronnyy kompleks – nauchno-tekhnicheskomu progressu Rossii. 2019. № 2. S. 15–17.

**Popov Igor Pavlovich**

Kurgan State University

Senior Lecturer, Department of «Engineering Technology, machine tools and instruments»

640002, Kurgan, Tomina str., 106–52

8–905–85–28–121

E-mail: ip.popow@yandex.ru

УДК 621.643.03: 665.61

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-9-14

Е.А. ЕФРЕМОВА, Б.И. КОВАЛЬСКИЙ, Ю.Н. БЕЗБОРОДОВ, В.З. ОЛЕЙНИК

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССОВ ОКИСЛЕНИЯ НА ВЯЗКОСТНО–ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧАСТИЧНО СИНТЕТИЧЕСКИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

**Аннотация.** Моторное масло является важным элементом конструкции двигателя внутреннего сгорания и может обеспечивать заданный его ресурс только при соответствии его свойств тем термическим, механическим и химическим воздействиям, которым оно подвергается в системе смазки и на поверхностях деталей, нагретых до высоких температур и в зоне трения. На основе анализа методов контроля и процессов, протекающих в моторных маслах, основными показателями, характеризующими их качество приняты термоокислительная стабильность, температурная стойкость, смазывающие свойства и вязкость, которые определяют ресурс моторного масла. Однако эти показатели применяются, в основном, при контроле производства масел и не нашли широкого применения при эксплуатации различной техники. Кроме того, недостаточно изучены вопросы влияния продуктов окисления на кинематическую вязкость, индекс вязкости, противоизносные свойства и ресурс смазочных масел, а главное механизм образования продуктов термостатирования их структура и энергоёмкость. поэтому целью данных исследований является определение потенциального ресурса работы моторных масел, а также влияние окислительных процессов на вязкостно–температурные характеристики моторных масел и обоснование критерия их оценки. В данной работе представлены результаты исследования влияния окислительных процессов на вязкостно–температурные характеристики частично синтетических моторных масел: Castrol Magnatec 10W–40 и Роснефть Maximium 10W–40 SL/CF. при температурах термостатирования 180, 170 и 160°C. В качестве показателя для обоснования предельно допустимой температуры работоспособности моторных масел предложен потенциальный ресурс и

*критерий вязкостно–температурной характеристики, определяемый произведением оптической плотности на индекс вязкости.*

**Ключевые слова:** *оптическая плотность, потенциальный ресурс, критерий вязкостно–температурной характеристики.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов А.И. Изменения качества масел и долговечность автомобильных двигателей / А.И. Соколов. – Томск: Изд-во Томского университета, 1976. – 120 с.
2. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение / И.Г. Анисимов, К.М. Бадыштова, С.А. Бнатов и др.; Под ред В.М. Школьников. – М.: Издательский центр «Техинформ». – 1999. – 596 с.
3. Ковальский Б.И. Методы и средства повышения эффективности использования смазочных материалов / Б.И. Ковальский – Новосибирск: Наука. 2005. – 341 с.
4. Ковальский Б.И. Метод контроля влияния процессов окисления и температурной деструкции на изменения индекса вязкости моторных масел / Б.И. Ковальский, Е.Г. Кравцова, Н.М. Лысянникова, М.Н. Артемов // Изд. Тульского ГУ. – № 8–2. – 2015. – С. 109–116.
5. Пат. №1779756 РФ. МКИЗ FOIM 9102. Способ оценки ресурса моторного масла двигателей внутреннего сгорания / В.В. Чанкин, Т.К. Пугачева, Ю.А. Шапунский, Т.С. Морозова, В.В. Тайц. – 1992. Бюл. №45
6. Гушин В.А. Восстановление эксплуатационных свойств моторных масел, теоретические предпосылки / В.А. Гушин, В.В. Острыков, А.И. Гушина, В.В. Паутов // ХТТМ. – 1999. – №1. – С. 24–25.
7. Маркова Л.В. Современные требования к контролю работоспособности масла дизельного ДВС / Л.В. Маркова, Н.К. Мышкин, Х. Конт и др. // Трение и износ. – 2002. – Т.23. – №4. – С. 425 – 435.
8. Мышкин Н.К. К определению температурной стойкости граничных слоев / Н.К. Мышкин, В.В. Кончиц // Трение и износ. – 1981. – Т.11. – №4. – С.725–728.
9. Коваленко В.П. Загрязнения, очистка нефтяных масел / В.П. Коваленко. – М: Химия. – 1987. – 304 с.
10. Зуидема Г.Г. Эксплуатационные свойства смазочных масел / Г.Г. Зуидема. – М.: Гостоптехиздат – 1957. – 170 с.

**Ковальский Болеслав Иванович**

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск  
Доктор технических наук, профессор  
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79  
Тел. 8–967–257–22–25  
e-mail: Labzm@mail.ru,

**Безбородов Юрий Николаевич**

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск  
доктор технических наук, заведующий кафедрой  
«ТОГСМ»  
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79  
Тел. 8–930–257–10–57  
e-mail: Labzm@mail.ru

**Ефремова Елена Александровна**

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск  
Аспирант  
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79  
Тел. 8–923–598–78–45,  
e-mail: yefremova\_sfu@mail.ru

**Олейник Виктор Зиновьевич**

Аспирант  
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск  
Аспирант  
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79  
Тел. 8–923–327–11–50,  
e-mail: oleinikvictor@gmail.com

---

E.A. EFREMOVA, B.I. KOVALSKY, YU.N. BEZBORODOV, V.Z. OLEINIK

## RESULTS OF THE STUDY OF THE INFLUENCE OF OXIDATION PROCESSES ON THE VISCOSITY–TEMPERATURE CHARACTERISTICS OF PARTIALLY SYNTHETIC MOTOR OILS

**Abstract.** *Engine oil is an important element in the design of an internal combustion engine and can provide a given resource only if its properties correspond to the thermal, mechanical and chemical influences to which it is subjected in the lubrication system and on the surfaces of parts heated to high temperatures and in the friction zone. Based on the analysis of control methods and processes occurring in engine oils, the main indicators that characterize their quality are thermal–oxidative stability, temperature resistance, lubricating properties and viscosity, which determine the resource of the engine oil. However, these indicators are mainly used in the control of oil production and are not widely used in the operation of various equipment. In addition, the influence of oxidation products on the kinematic viscosity, viscosity index, anti–wear properties and service life of lubricating oils, and most importantly, the mechanism of formation of temperature control products, their structure and energy consumption, are not sufficiently studied. therefore, the purpose of these studies is to determine the potential service life of motor oils, as well as the influence of oxidative processes on the viscosity–temperature characteristics of motor oils and to justify the criteria for their evaluation. This paper presents the results of a study of the effect of oxidative processes on the viscosity–temperature*

*characteristics of partially synthetic motor oils: Castrol Magnatec 10W-40 and Rosneft Maximum 10W-40 SL/CF. at temperature control temperatures of 180.170 and 160°C. The potential resource and the criterion of the viscosity-temperature characteristic determined by the product of the optical density and the viscosity index are proposed as an indicator for justifying the maximum permissible temperature of the working capacity of motor oils.*

**Keywords:** optical density, potential resource, criterion of the viscosity-temperature characteristic.

## BIBLIOGRAPHY

1. Sokolov A.I. *Izmeneniya kachestva masel i dolgovechnost avtomobilnyh dvigatelej* / A.I. Sokolov. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo universiteta, 1976. – 120 s.
2. *Topliva, smazochnye materialy, tehicheskie zhidkosti. Assortiment i primeneniye* / I.G. Anisimov, K.M. Badyshtova, S.A. Bnatov i dr.; Pod red V.M. Shkolnikova. – M.: Izdatelskij centr «Tehinform». – 1999. – 596 s.
3. Kovalskij B.I. *Metody i sredstva povysheniya jeffektivnosti ispolzovaniya smazochnyh materialov* / B.I. Kovalskij – Novosibirsk: Nauka. 2005. – 341 s.
4. Kovalskij B.I. *Metod kontrolja vlijaniya processov okisleniya i temperaturnoj destrukcii na izmeneniya indeksa vjazkosti motornyh masel* / B.I. Kovalskij, E.G. Kravcova, N.M. Lysjannikova, M.N. Artemov // Izd. Tul'skogo GU. – № 8-2. – 2015. – S. 109-116.
5. Pat. №1779756 RF.MKI3 FOIM 9102. *Sposob ocenki resursa motornogo masla dvigatelej vnutrennego sgoraniya* / V.V. Chankin, T.K. Pugacheva, Ju.A. Shapunskij, T.S. Morozova, V.V. Tajc. – 1992. Bjul№45
6. Gushhin V.A. *Vosstanovlenie jekspluacionnyh svojstv motornyh masel, teoreticheskie predposylki* / V.A. Gushhin, V.V. Ostrykov, A.I. Gushhina, V.V. Pautov // HTTM. – 1999. – №1. – S. 24-25.
7. Markova L.V. *Sovremennye trebovaniya k kontrolju rabotosposobnosti masla dizelnogo DVS* / L.V. Markova, N.K. Myshkin, H. Kont i dr. // Trenie i iznos. – 2002. – T.23. – №4. – S. 425-435.
8. Myshkin N.K. *K opredeleniju temperaturnoj stojkosti granichnyh sloev* / N.K. Myshkin, V.V. Konchic // Trenie i iznos. – 1981. – T.11. – №4. – S.725-728.
9. Kovalenko V.P. *Zagrjazneniya, ochistka neftjanyh masel* / V.P. Kovalenko. – M: Himija. – 1987. – 304 s.
10. Zuidema G.G. *Jekspluacionnye svojstva smazochnyh masel* / G.G. Zuidema. – M.: Gostoptehizdat – 1957. – 170 s.

### **Kovalsky Boleslav Ivanovich**

Siberian Federal University, Krasnoyarsk  
Doctor of Technical Sciences, Professor  
79 Svobodny Ave., Krasnoyarsk, 660041  
Tel. 8-967-257-22-25  
e-mail: Labzm@mail.ru,

### **Bezborodov Yuri Nikolaevich**

Siberian Federal University, Krasnoyarsk  
Doctor of Technical Sciences, Head of the Department  
"TOGSM"  
660041, Krasnoyarsk, Svobodny Ave., 79  
Tel. 8-930-257-10-57  
e-mail: Labzm@mail.ru

### **Efremova Elena Aleksandrovna**

Siberian Federal University, Krasnoyarsk  
Postgraduate student,  
79 Svobodny Ave., Krasnoyarsk, 660041  
Tel. 8-923-598-78-45,  
e-mail: yefremova\_sfu@mail.ru

### **Oleynik Viktor Zinovievich**

Graduate student  
Siberian Federal University, Krasnoyarsk  
Postgraduate student,  
79 Svobodny Ave., Krasnoyarsk, 660041  
Tel. 8-923-327-11-50,  
e-mail: oleinikvictor@gmail.com

## **МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА, ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ**

УДК 517.984, 54.534, 51.74

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-15-21

Г.Ф. САФИНА

### **СОХРАНЕНИЕ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ БАЛКИ С ОСНОВАНИЕМ ИЗМЕНЕНИЕМ ЖЕСТКОСТЕЙ ПРУЖИН КРУЧЕНИЯ ЕЕ ШАРНИРНЫХ ОПОР**

**Аннотация:** В статье представлены результаты решения прямой и обратной задач изгибных колебаний балки на упругом основании с учетом шарнирных опор с пружинами кручения. Исследован и найден алгоритм решения обратной задачи идентификации коэффициентов жесткости опор краев балки по известным значениям двух собственных частот ее колебаний. Получены аналитические формулы для решения граничной задачи, показывающие двойственность идентификации искомым параметром жесткости



шарнирных опор. Показано применение технологий подбора соответствующих параметров жесткости к проблеме сохранения безопасных частот колебаний балки. Приведены численные расчеты.

**Ключевые слова:** балка на упругом основании, частотное уравнение, граничная задача, идентификация, коэффициенты жесткости.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахтямов А.М. Теория идентификации краевых условий и ее приложения. – М.: Физматлит, 2009. – 272 с.
2. В.А. Юрко Введение в теорию обратных спектральных задач. М.: Физматлит, 2007. 384 с.
3. Сафина Г.Ф. Моделирование в задаче свободных колебаний жесткого ротора на податливых подшипниках // Современные наукоемкие технологии. – 2020. № 4. С. 64–68.
4. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в 3–х томах. Т.1 / Под ред. А. Биргера, Я.Г. Пановко. – М.: Машиностроение, 1983. – 415 с.
5. Доев В.С. Поперечные колебания балок: учебное пособие. – М.: КНОРУС, 2016. – 412 с.
6. Бабаков И.М. Теория колебаний. – М.: Наука, 1968. – 560 с.
7. Окишев В. К. Балки и плиты на упругом основании в транспортных задачах: Монография. – Омск, Омский гос. ун–т путей сообщения. 2004. – 103 с.
8. Сабитов К. Б. Колебания балки с заделанными концами // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Физ.–мат. науки, – 2015. 19:2. С. 311–324.
9. Травуш В.И., Гордон В.А., Колчунов В.И., Леонтьев Е.В. Математическая модель балки, частично опертой на упругое основание // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. – 2019. Т. 15. № 2. – С. 144–158.
10. Гордон В.А., Потураева Т.В., Семенова Г.А. Собственные поперечные колебания балки, частично опертой на упругое основание. // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2015. № 6 (314). – С. 3–10.
11. Леонтьев Е.В. К вопросу о поперечных колебаниях балок на упругом основании при изменении условий опирания. // Строительство и реконструкция. – 2020. №5 (91). – С.70–76.

#### Сафина Гульнара Фриловна,

Нефтекамский филиал ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет»,

Кандидат физико–математических наук, доцент, декан экономико–математического факультета,  
452680, Республика Башкортостан, г. Нефтекамск, ул. Тракторная, д.1.

Тел. 8(917) 40–399–79

E–mail: safinagf@mail.ru

---

G.F. SAFINA

## MAINTAINING OSCILLATION FREQUENCIES OF BEAM WITH BASE BY CHANGING TORSION SPRING STIFFNESS ITS HINGE SUPPORTS

**Abstract:** *The article presents the results of solving the straight and reverse problems of bending vibrations of the beam on an elastic base taking into account hinge supports with torsion springs. Algorithm for solving inverse problem of identification of stiffness coefficients of beam edge supports by known values of two natural frequencies of its oscillations was investigated and found. Analytical formulas for solution of boundary problem showing duality of identification of required stiffness parameters of hinge supports are obtained. Application of technologies for selection of appropriate stiffness parameters to the problem of preservation of safe frequencies of beam oscillations is shown. Numerical calculations are given.*

**Keywords:** *elastic beam, frequency equation, boundary problem, identification, stiffness coefficients.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Akhtyamov A.M. Teoriya identifikatsii kraevykh uslovii i ee prilozheniya. – М.: Fizmatlit, 2009. – 272 с.
2. V.A. Yurko Vvedenie v teoriyu obratnykh spektralnykh zadach. М.: Fizmatlit, 2007. 384 s.

3. Safina G.F. Modelirovanie v zadache svobodnykh kolebaniy zhestkogo rotora na podatlivykh podshipnikakh // *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. – 2020. № 4. S. 64–68.
4. Prochnost, ustoichivost, kolebaniya. Spravochnik v 3–kh tomakh. T.1 / Pod red. A. Birgera, Ya.G. Panovko. – M.: Mashinostroenie, 1983. – 415 s.
5. Doev V.S. Poperechnye kolebaniya balok: uchebnoe posobie. – M.: KNORUS, 2016. – 412 s.
6. Babakov I.M. Teoriya kolebaniy. – M.: Nauka, 1968. – 560 s.
7. Okishev V. K. Balki i plity na uprugom osnovanii v transportnykh zadachakh: Monografiya. – Omsk, Omskii gos. un–t putei soobshcheniya. 2004. – 103 s.
8. Sabitov K. B. Kolebaniya balki s zadelannymi kontsami // *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser. Fiz.–mat. nauki*, – 2015. 19:2. S. 311–324.
9. Travush V.I., Gordon V.A., Kolchunov V.I., Leontev E.V. Matematicheskaya model balki, chastichno opertoj na uprugoe osnovanie // *Mezhdunarodnyi zhurnal po raschetu grazhdanskikh i stroitelnykh konstruksii*. – 2019. T. 15. № 2. – S. 144–158.
10. Gordon V.A., Poturaeva T.V., Semenova G.A. Sobstvennye poperechnye kolebaniya balki, chastichno opertoj na uprugoe osnovanie. // *Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii*. – 2015. № 6 (314). – S. 3–10.
11. Leontev E.V. K voprosu o poperechnykh kolebaniyakh balok na uprugom osnovanii pri izmenenii uslovii opiraniya. // *Stroitelstvo i rekonstruksiya*. – 2020. №5 (91). – S.70–76.

**Safina Gulnara Frilovna**

*Ph.D.*, associate professor

«Bashkir state University» Neftekamsk branch, Dean of the faculty «Economics and mathematics»,

452680, Bashkortostan, Neftekamsk, Traktovaya,1.

*Ph.*: 8(917) 40–399–79

E–mail: safinagf@mail.ru

УДК 620.179.111

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-22-29

Г.В. ЛАЗУТКИН, К.В. БОЯРОВ, В.А. АНТИПОВ, В.Л. БЕРЕСНЕВ, Н.В. НАЗАРОВА

## ХАРАКТЕРНЫЕ СЛУЧАИ УДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ ВИБРОЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ АГРЕГАТОВ И УЗЛОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

**Аннотация.** *С использованием разработанной ранее математической модели виброизолятора с упругогистерезисным элементом из материала металлорезина и полученных приближенных решений нелинейного дифференциального уравнения движения ВС на базе методов Бубнова–Галеркина и малого параметра выведены зависимости для построения удароизолирующих характеристик для импульсов прямоугольной и полусинусоидальной формы. Показано, что погрешность этих решений по сравнению с точными решениями для некоторых упругих характеристик, в частности с существенной нелинейностью в виде кубической параболы, не превышает 3,5%.*

**Ключевые слова:** *виброизолятор, металлорезина, математическая модель, ударное нагружение, одиночный импульс, уравнение движения, виброзащитная система, приближенное решение, погрешность.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коловский М.З. Нелинейная теория виброзащитных систем / М.З. Коловский. – М.: Наука, 1972. – 317 с.
2. Лазуткин Г.В. Совершенствование конструкций и методов расчета виброизоляторов на основе проволочного волоконного материала: монография / Г.В. Лазуткин, А.В. Антипов, А.Л. Рябков. – Самара: СамГУПС, 2008. – 200 с.
3. Лазуткин Г.В. Виброизоляторы на основе материала МР (типа ДКУ) / Г.В.Лазуткин; Куйбышевский авиационный институт. – Куйбышев, 1985. – 150 с. – Деп в ВИНТИ 16.08.85, № 6112–85.
4. Бузицкий В.Н. Исследование характеристик амортизаторов из материала МР / В.Н. Бузицкий, Г.В.Лазуткин // *Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов: сборник научн. трудов*. Вып. 3. – Куйбышев: КуАИ, 1976. – С.7–15.

университет имени академика С.П. Королева», доктор технических наук, нач. отдела ОНИЛ–1. 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34, e-mail: lazutkin.gennadij@mail.ru

исследовательский университет имени академика С.П. Королева», аспирант кафедры «Конструкция и проектирование двигателей летательных аппаратов». e-mail: konst90@gmail.com

ФГБОУ ВПО «Самарский государственный университет путей сообщения» (СамГУПС), доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Наземные транспортно–технологические средства». e-mail: foter3044@gmail.com

**Береснев Владимир Леонидович** ФГБОУ ВПО «Самарский государственный университет путей сообщения» (СамГУПС), кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Наземные транспортно–технологические средства». e-mail: VladBeresneff2016@yandex.ru

**Назарова Надежда Владимировна** ФГБОУ ВПО «Самарский государственный университет путей сообщения» (СамГУПС), кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Наземные транспортно–технологические средства». 443066, г. Самара, 1–й Безымянный пер., 18, e-mail: nazarova1602@mail.ru

---

G.V. LAZUTKIN, K.V. BOYAROV, V.A. ANTIPOV, V.L. BERESNEV, N.V. NAZAROVA

## **TYPICAL CASES OF SHOCK LOADING OF VIBRATION–PROOF SYSTEMS OF AGGREGATES AND COMPONENTS OF VEHICLES**

**Abstract.** *Using the previously developed mathematical model of a vibration isolator with an elastic–hysteresis element made of metal–rubber material and the obtained approximate solutions of the nonlinear differential equation of the aircraft motion based on the Bubnov–Galerkin methods and a small parameter, the dependences for constructing shock–insulating characteristics for rectangular and semi–sinusoidal pulses are derived. It is shown that the error of these solutions in comparison with the exact solutions for some elastic characteristics, in particular, with a significant nonlinearity in the form of a cubic parabola, does not exceed 3.5%.*

**Keywords:** *vibration isolator, metal rubber, mathematical model, shock loading, single pulse, equation of motion, vibration protection system, approximate solution, error.*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Kolovskij M.Z. Nelinejnaya teoriya vibrozashchitnyh sistem / M.Z. Kolovskij. – M.: Nauka, 1972. – 317 s.
2. Lazutkin G.V. Sovershenstvovanie konstrukcij i metodov rascheta vibroizolyatorov na osnove provolochного voloknovogo materiala: monografiya / G.V. Lazutkin, A.V. Antipov, A.L. Ryabkov. – Samara: SamGUPS, 2008. – 200 s.
3. Lazutkin G.V. Vibroizolyatory na osnove materiala MR (tipa DKU) /G.V.Lazutkin; Kujbyshevskij aviacionnyj institut. – Kujbyshev, 1985. – 150 s. – Dep v VINITI 16.08.85, № 6112–85.
4. Buzickij V.N. Issledovanie harakteristik amortizatorov iz materiala MR / V.N. Buzickij, G.V.Lazutkin // Vibracionnaya prochnost i nadezhnost dvigatelej i sistem letatelnyh apparatov: sbornik nauchn. trudov. Vyp. 3. – Kujbyshev: KuAI, 1976. – S.7–15.

**Lazutkin Gennadi Vasilievich**, "Samara State Aerospace University named after Academician SP Korolev (National Research University)", doctorate in Engineering, early. Department of ONIL–1 443086, Russia, Samara, Moscow highway, 34 e-mail: lazutkin.gennadij@mail.ru

**Boyarov Konstantin Viktorovich** "Samara State Aerospace University named after Academician SP Korolev (National Research University)", postgraduate student of the Department "Design and engineering of aircraft Engines". 443086, Russia, Samara, Moscow highway, 34, e-mail: konst90@gmail.com

**Antipov Vladimir Alexandrovich**, Samara State Transport University (SSTU), doctorate in Engineering, Professor, Professor of the department «Ground transport–technological means ». 18 Pervyi Bezymianny per., 443066, Samara, Russia, e-mail: foter3044@gmail.com

**Beresnev Vladimir Leonidovich**, Samara State Transport University (SSTU), PhD in Engineering, Associate Professor the department «Ground transport–technological means ». 18 Pervyi Bezymianny per., 443066, Samara, Russia, e-mail: VladBeresneff2016@yandex.ru

**Nazarova Nadezhda Vladimirovna**, Samara State Transport University (SSTU), PhD in Engineering, Associate Professor of the department « Ground transport–technological means ». 18 Pervyi Bezymianny per., 443066, Samara, Russia, e-mail: nazarova1602@mail.ru

Г.В. ЛАЗУТКИН, Д.П. ДАВЫДОВ, К.В. БОЯРОВ, В.А. АНТИПОВ, В.А. ДОВГИЙ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОКОЛОРЕЗОНАНСНЫХ РЕЖИМОВ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ВИБРОЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ С КОНСТРУКЦИОННЫМ ДЕМПФИРОВАНИЕМ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

**Аннотация.** С использованием разработанной ранее математической модели виброизолятора с упругогистерезисным элементом из материала металлорезина и на базе метода Бубнова – Галеркина получено решение уравнения вынужденных колебаний виброзащитных систем (ВС) при гармоническом возбуждении. Полученные теоретические результаты использованы для построения обобщенных динамических характеристик виброизоляторов с конструкционным демпфированием, в частности, виброизоляторов с упругогистерезисным элементом из материала МР. В результате получен простой и достаточно общий порядок расчета обобщенных виброизолирующих характеристик ВС для случая гармонической линеаризации.

**Ключевые слова:** виброзащитная система, математическая модель, металлорезина, нелинейное уравнение движения, приближенное решение, гармоническая линеаризация, обобщенные динамические характеристики, анализ результатов расчета.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боголюбов Н.Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний / Н.Н. Боголюбов, Ю.А. Митропольский. – М.: Наука, 1974. – 504 с.
2. Хаяси Т. Нелинейные колебания в физических системах / Т. Хаяси. – М.: Мир, 1968. – 432 с.
3. Вульфсон И.И. Нелинейные задачи динамики машин / И.И. Вульфсон, М.З. Коловский. – М.: Машиностроение, 1968. – 284 с.
4. Лазуткин Г.В. Совершенствование конструкций и методов расчета виброизоляторов на основе проволочного волоконного материала: монография / Г.В. Лазуткин, А.В. Антипов, А.Л. Рябков. – Самара: СамГУПС, 2008. – 200 с.

**Лазуткин Геннадий Васильевич**  
ФГАОУ ВО «Самарский  
национальный исследовательский  
университет имени академика С.П.  
Королева»  
доктор технических наук, нач. отдела  
ОНИЛ–1.  
443086, Россия, г. Самара,  
Московское шоссе, 34,  
e-mail: lazutkin.gennadij@mail.ru

**Давыдов Данила Петрович**  
ФГАОУ ВО «Самарский  
национальный  
исследовательский  
университет имени академика  
С.П. Королева» (Самарский  
университет),  
кандидат технических наук,  
научный сотрудник  
отраслевой научно–  
исследовательской  
лаборатории «Вибрационная  
прочность и надежность  
авиационных изделий».  
443086, Россия, г. Самара,  
Московское шоссе, 34,  
e-mail: dpdavydov@yandex.ru

**Бояров Константин Викторович**  
ФГАОУ ВО «Самарский  
национальный исследовательский  
университет имени академика  
С.П. Королева»,  
443086, Россия, г. Самара,  
Московское шоссе, 34,  
аспирант кафедры «Конструкция  
и проектирование двигателей  
летательных аппаратов».  
e-mail: konst90@gmail.com

**Антипов Владимир Александрович**  
ФГБОУ ВПО «Самарский  
государственный университет путей  
сообщения» (СамГУПС),  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Наземные  
транспортно–технологические  
средства».  
443066, г. Самара, 1–й Безымянный  
пер., 18,  
e-mail: foter3044@gmail.com

**Довгий Владимир Анатольевич**  
ФГБОУ ВПО «Самарский государственный университет путей  
сообщения» (СамГУПС),  
старший преподаватель кафедры «Наземные транспортно–  
технологические средства»  
443066, г. Самара, 1–й Безымянный пер., 18,

G.V. LAZUTKIN, D.P. DAVYDOV, K.V. BOYAROV, V.A. ANTIPOV, V.A. DOVGIY

## INVESTIGATION OF NEAR-RESONANT MODES OF FORCED VIBRATIONS OF VIBRATION-PROOF SYSTEMS WITH STRUCTURAL DAMPING UNDER HARMONIC EXCITATION

**Abstract.** *Using the previously developed mathematical model of a vibration isolator with an elastic – hysteresis element made of metal–rubber material and on the basis of the Bubnov–Galerkin method, the solution of the equation of forced vibrations of vibration protection systems (VS) under harmonic excitation is obtained. The obtained theoretical results are used to construct generalized dynamic characteristics of vibration isolators with structural damping, in particular, vibration isolators with an elastic–hysteresis element made of MR material. As a result, a simple and fairly general procedure for calculating the generalized vibration–isolating characteristics of the aircraft for the case of harmonic linearization is obtained.*

**Keywords:** *vibration protection system, mathematical model, metal rubber, nonlinear equation of motion, approximate solution, harmonic linearization, generalized dynamic characteristics, analysis of calculation results.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Bogolyubov N.N. Asimptoticheskie metody v teorii nelinejnyh kolebanij / N.N. Bogolyubov, YU.A. Mitropolskij. – M.: Nauka, 1974. – 504 s.
2. Hayasi T. Nelinejnye kolebaniya v fizicheskikh sistemah / T. Hayasi. – M.: Mir, 1968. – 432 s.
3. Vulfson I.I. Nelinejnye zadachi dinamiki mashin / I.I. Vulfson, M.Z. Kolovskij. – M.: Mashinostroenie, 1968. – 284 s.
4. Lazutkin G.V. Sovershenstvovanie konstrukcij i metodov rascheta vibroizolyatorov na osnove provolochnogo voloknovogo materiala: monografiya / G.V. Lazutkin, A.V. Antipov, A.L. Ryabkov. – Samara: SamGUPS, 2008. – 200 s.

**Lazutkin Gennadi Vasilievich**

"Samara State Aerospace University named after Academician SP Korolev (National Research University)",  
doctorate in Engineering, early.  
Department of ONIL–1.  
443086, Russia, Samara, Moscow highway, 34,  
e–mail: lazutkin.gennadij@mail.ru

**Davydov Daniel Petrovich**

"Samara State Aerospace University named after Academician SP Korolev (National Research University)",  
candidate of Technical Sciences,  
researcher of the branch research laboratory "Vibration strength and reliability of aircraft products".  
443086, Russia, Samara, Moscow highway, 34,  
e–mail: dpdavydov@yandex.ru

**Boyarov Konstantin Viktorovich**

"Samara State Aerospace University named after Academician SP Korolev (National Research University)",  
postgraduate student of the Department "Design and engineering of aircraft Engines".  
443086, Russia, Samara, Moscow highway, 34,  
e–mail: konst90@gmail.com

**Antipov Vladimir Alexandrovich**

Samara State Transport University (SSTU),  
doctorate in Engineering, Professor,  
Professor of the department «Ground transport–technological means».  
18 Pervyi Bezymianny per., 443066,  
Samara, Russia  
e–mail: foter3044@gmail.com

**Dovgiy Vladimir Anatolievich**

Samara State Transport University (SSTU),  
PhD in Engineering, the department «Ground transport–technological means».  
18 Pervyi Bezymianny per., 443066,  
Samara, Russia,

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

УДК 621.643.03: 665.61

DOI:10.33979/2073-7408-2021-349-5-39-45

В.В. КУЦ, А.Н. ГРЕЧУХИН, А.В. ОЛЕШИЦКИЙ, А.С. ПРИВАЛОВ, П.С. ЩЕРБАКОВ

## **АЛГОРИТМ ДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМНОЙ МОДЕЛИ НА КРИВОЛИНЕЙНЫЕ СЛОИ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ**

**Аннотация.** *Статья посвящена разработке теоретических основ аддитивного формообразования изделий по технологии FDM. Проведен анализ исследований в данной области. Выявлено, что формирование изделий по аддитивной технологии FDM, имеют существенные недостатки, связанные, в первую очередь, с анизотропией физико-механических свойств изделий в продольном и поперечном направлениях, что оказывает влияние на уровень эксплуатационных характеристик этих изделий. Одним из направлений решения проблемы образования анизотропии, а так же ее управлением, является формирование структуры изделия пространственными криволинейными слоями. Для обеспечения формирования изделий по технологии FDM пространственными криволинейными слоями, в статье предложены результаты реализации разработанных алгоритмов деления цифровой модели на пространственные криволинейные слои для 3D печати. Представлены результаты реализации разработанных алгоритмов деления цифровой модели на пространственные криволинейные слои для 3D печати. Применение предложенных алгоритмов позволит формировать пространственные криволинейные слои деталей, повышая их физико-механические свойства.*

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, послойный синтез, анизотропия.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке стипендии Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов СП-4738.2021.1*

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Алгоритм разделения трехмерной модели на слои для 3D-печати И. А. Гуцин, А. Р. Авдеев, А. А. Швец, А. В. Дроботов//Известия ТулГУ. Технические науки, 2016. Выпуск 11. Часть 2. с. 99–105.
2. Заявка США US 2018297280 A1, дата публикации 18.10.2018, Элизабет Сильвестро.
3. Международная заявка WO 2016019435 A1, дата публикации 11.02.2016, LAING OROURKE AUSTRALIA PTY LIMITED.
4. Burns M 1993 Автоматизированное Изготовление: Повышение производительности в производстве (Энглвуд Клиффс. Нью-Джерси, США: PTR Prentice Hall) 369 стр.
5. Сапрыкин А.А. 2006 Повышение производительности процесса селективного лазерного спекания при изготовлении опытных образцов Диссертация кандидата технических наук (Юрга: Томский политехнический университет) с. 153.
6. Проников А.А., Аверьянов О.И., Аполлон Ю.С. 1994 Проектирование металлорежущих станков и станков (Справочник-учебник т. 3) (М.: МГТУ им. Н.Е. Баумана: Машиностроение) с. 444.
7. Куц В.В., Разумов М.С., Гречухин А.Н., Бычкова Н.А. 2016 Повышение качества аддитивных методов формирования поверхностей деталей нестандартной формы с применением механизмов параллельной кинематики. Международный журнал прикладных инженерных исследований, 11 стр. 11832–11835.
8. Червяков Л.М., Бычкова Н.А., Елисеева Н.В. и др. 2016 Трансфер аддитивных технологий: промышленность Курской области (Курск: ЗАО «Университетская Книга») с. 168.
9. Доброскок В.Л., Абдураимов Л.Н., Чернышов С.И. 2010 Рациональная ориентация изделий с их послойным формированием на основе исходной триангуляционной 3d модели. Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета 24 стр. 13–21.
10. Сингхал С.К., Пандей А.П., Пандей П.М. и Нагпал А.К. 2005 Оптимальная ориентация размещения деталей в стереолитографии. Компьютерное проектирование и приложения. 2 стр. 319–328.
11. Хонг С., Бьюн Кван Х. Ли 2004 Оптимальная ориентация деталей при быстром прототипировании с использованием генетического алгоритма. Компьютеры и промышленная инженерия, стр. 426–431.
12. Лан ПТ, Чжоу С, Чент И, Геммилл Л.Д. 1997 Определение ориентации производства для быстрого прототипирования с помощью стереолитографического аппарата. Компьютерное проектирование 29 с. 53–62.
13. Масуд С.Х., Раттанавонг В Иовенитти П 2003 Общий алгоритм системы ориентации деталей для сложных деталей при быстром прототипировании. J. Mater. Process. Technol 139 с. 110–116.
14. Масуд С.Х., Раттанавонг В. 2002 Общая система ориентации деталей, основанная на объемной ошибке при быстром прототипировании. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 19 стр. 209–216.
15. Егоров И.Н. 2010 Позиционно-силовое управление робототехническими и мехатронными устройствами Владимирский государственный университет Владимир стр. 243.
16. Гречухин А.Н., Аникутин И.С., Бышкин А.С. Управление пространственной ориентацией конечного эффектора генерации геометрической системы пятиосного производственного оборудования для аддитивной генерации геометрии. Сеть конференций МАТЕС. Том 226, 7 ноября 2018 г., статья № 0100214–я Международная научно-техническая конференция «Динамика технических систем», ДТС 2018; Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону; Российская Федерация; С 12 сентября 2018 года по 14 сентября 2018 года; Код 141842.

17. Гречухин А.Н., Куц В.В., Разумов М.С. Способы снижения погрешности аддитивных методов формования. Сеть конференций МАТЕС. Том 226, 7 ноября 2018 г., статья № 0100214–я Международная научно-техническая конференция «Динамика технических систем», ДТС 2018; Донской государственный технический университет, Ростов–на–Дону; Российская Федерация; С 12 сентября 2018 года по 14 сентября 2018 года; Код 141842.

18. Гречухин А.Н., Куделина Д.В., Разумов М.С. Разработка информационно–аналитической системы мониторинга технологических запросов с учетом региональной специфики. Международная конференция по актуальным вопросам машиностроения. Том: 157, с. 198–202.

19. Расчет контролируемых параметров 6–координатного робота в процессе аддитивного формования изделий. Гречухин А.Н., Куц В.В., Разумов М.С. (2019) Физический журнал: Серия конференций, 1210 (1), статья № 012053.

20. Гречишников В.А., Куц В.В., Разумов М.С. и др. 2017 Определение погрешности формообразования детали планетарным механизмом методами геометрической теории резания СТИН 4 с. 24–26.

21. Гречишников В.А., Романов В.Б., Пивкин П.М. 2017 Ошибки формообразования планетарным механизмом Российские инженерные изыскания том 37 № 9 с. 824–826.

### **Куц Вадим Васильевич**

ФГБОУ ВО «Юго–Западный государственный университет», г. Курск  
Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры машиностроительных технологий и оборудования 305040, г. Курск, ул. 50 – лет Октября, 94  
Тел. 89036399401  
E–mail: kuc–vadim@yandex.ru

### **Гречухин Александр Николаевич**

ФГБОУ ВО «Юго–Западный государственный университет», г. Курск  
Кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроительных технологий и оборудования 305040, г. Курск, ул. 50 – лет Октября, 94  
Тел. 89192724513  
E–mail: agrechunin@mail.ru

### **Олещицкий Алексей Вячеславович**

ФГБОУ ВО «Юго–Западный государственный университет», г. Курск  
Магистрант кафедры машиностроительных технологий и оборудования 305040, г. Курск, ул. 50 – лет Октября, 94  
Тел. 89611946596  
E–mail: Oav@yandex.ru

### **Привалов Александр Сергеевич**

ФГБОУ ВО «Юго–Западный государственный университет», г. Курск  
Студент кафедры машиностроительных технологий и оборудования 305040, г. Курск, ул. 50 – лет Октября, 94  
Тел. 89207044651  
E–mail: priwalovalexander@mail.ru

### **Щербаков Павел Сергеевич**

ФГБОУ ВО «Юго–Западный государственный университет», г. Курск  
Аспирант кафедры машиностроительных технологий и оборудования 305040, г. Курск, ул. 50 – лет Октября, 94  
Тел. 89513344403  
E–mail: pasharazor46@mail.ru

---

V.V. KUTS, A.N. GRECHUKHIN, A.V. OLESHITSKY, F.S. PRIVALOV, P.S. SHCHERBAKOV

## **ALGORITHM FOR DIVIDING A VOLUME MODEL INTO CURVILINEAR LAYERS FOR 3D PRINTING**

**Abstract.** The article is devoted to the development of the theoretical foundations of the additive shaping of products using the FDM technology. The analysis is carried out by research in this area. It was revealed that the formation of products using the additive FDM technology has significant drawbacks. They are primarily associated with the anisotropy of the physical and mechanical properties of products in the longitudinal and transverse directions. This affects the level of performance of these products. One of the directions for solving the problem of the formation of anisotropy, as well as its control, is the formation of the structure of the product by spatial curvilinear layers. Algorithms for dividing a digital model into curvilinear spatial layers for 3–D printing are proposed here, namely, the layers are divided into cylindrical, conical, spherical. This will provide the formation of products using the FDM technology with spatial curved layers. The results represent the implementation of the developed algorithms for dividing a digital model into spatial curved layers for 3D printing. The application of the proposed algorithms will improve the physicochemical properties of products by forming spatial curvilinear layers.

**Keywords:** additive technologies, layer–by–layer synthesis, anisotropy.

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Algorithm for dividing a three–dimensional model into layers for 3D printing I. A. Gushchin, A. R. Avdeev, A. A. Shvets, A. V. Drobotov//News of TulSU. Technical sciences. 2016. Issue 11. Part 2. pp 99–105.
2. Application USA US 2018297280 A1, publication date 18.10.2018, Elizabeth Silvestro.
3. International application WO 2016019435 A1, publication date 11.02.2016, LAING OROURKE AUSTRALIA PTY LIMITED.

4. Burns M 1993 Automated Fabrication: Improving Productivity in Manufacturing (Englewood Cliffs. N.J. USA: PTR Prentice Hall) 369 pp.
5. Saprykin A A 2006 Increasing the productivity of the process of selective laser sintering in the manufacture of prototypes Thesis of candidate of technical Sciences (Yurga: Tomsk Polytechnic University) p 153.
6. Pronikov A, Averyanov O I and Apollo Yu S 1994 Designing of metal-cutting machines and machine tools (Handbook-textbook vol 3) (Moscow: MSTU them NE Bauman: Mechanical Engineering) p 444.
7. Kuts V V, Razumov M S, Grechukhin A N and Bychkova N A 2016 Improving the quality of additive methods for forming the surfaces of odd-shaped parts with the application of parallel kinematics mechanisms. International Journal of Applied Engineering Research 11 pp 11832–11835.
8. Chervyakov L M, Bychkova N A, Yeliseyeva N V and others 2016 Transfer of additive technologies: the industry of the Kursk region (Kursk: ZAO «University Book») p 168.
9. Dobroskok V L, Abdurayimov L N and Chernyshov S I 2010 Rational orientation of products with their layer-by-layer shaping on the basis of the original triangulation 3d model. Scientific notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University 24 pp 13–21.
10. Singhal S K, Pandey A P, Pandey P M and Nagpal A K 2005 Optimum part deposition orientation in stereolithography Computer-Aided Design & Applications 2 pp 319–328.
11. Hong S, Byun Kwan H Lee 2004 Optimal part orientation of rapid prototyping using a genetic algorithm. Computers & Industrial Engineering pp 426–431.
12. Lan P T, Chou S, Chent Y, Gemmill L D 1997 Determining fabrication orientations for rapid prototyping with stereolithography apparatus. Computer-Aided Design 29 pp 53–62.
13. Massod S H, Rattanawong W Iovenitti P 2003 A generic algorithm for part orientation system for complex parts in rapid prototyping. J. Mater. Process. Technol 139 pp 110–116.
14. Masood S H, Rattanawong W 2002 A generic part orientation system based on volumetric error in rapid prototyping. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 19 pp 209–216.
15. Egorov I N 2010 Position-force control of robotic and mechatronic devices Vladimir State University Vladimir p 243.
16. Grechukhin, A.N., Anikutin, I.S., Byshkin, A.S Management of space orientation of the end effector of generation of geometry system fiveaxis manufacturing machinery for additive generation of geometry. MATEC Web of Conferences. Volume 226, 7 November 2018, Article number 0100214th International Scientific-Technical Conference "Dynamic of Technical Systems", DTS 2018; Don State Technical University Rostov-on-Don; Russian Federation; 12 September 2018 to 14 September 2018; Code 141842.
17. Grechukhin, A.N., Kuts, V.V., Razumov, M.S Ways to reduce the error of additive methods of forming. MATEC Web of Conferences. Volume 226, 7 November 2018, Article number 0100214th International Scientific-Technical Conference "Dynamic of Technical Systems", DTS 2018; Don State Technical University Rostov-on-Don; Russian Federation; 12 September 2018 to 14 September 2018; Code 141842.
18. Grechukhin, A.N., Kudelina D.V., Razumov, M.S Development of information-analytical system for technological requests monitoring, taking into account regional specifics. International Conference on Actual Issues of Mechanical Engineering. Tom: 157 pp 198–202.
19. Calculation of the controlled parameters of the 6-coordinate robot in the process of additive forming of products. Grechukhin, A.N., Kuts, V.V., Razumov, M.S. (2019) Journal of Physics: Conference Series, 1210 (1), article № 012053.
20. Grechishnikov V A, Kuts V V, Razumov M S and others 2017 Determination of the error in the shape of a part shaping by a planetary mechanism using the methods of geometric cutting theory STIN 4 pp 24–26.
21. Grechishnikov V A, Romanov V B and Pivkin P M 2017 Errors in shaping by a planetary mechanism Russian Engineering Research vol 37 № 9 pp 824–826.

**Kuts Vadim Vasilevich**

Southwest State University, Kursk Doctor of technical sciences associate professor, professor of Department of Machine – Building Technologies and Equipment  
305040, Kursk, 50 let Oktyabrya, 94  
Ph.: 89036399401  
E-mail: kuc-vadim@yandex.ru

**Grechukhin Aleksandr Nikolayevich**

South-Western state University, Kursk Candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of machine-building technologies and equipment  
305040, Kursk, 50 let Oktyabrya, 94  
Ph.: 89192724513  
E-mail: agrechunin@mail.ru

**Oleshitsky Alexey Vyacheslavovich**

South-Western state University, Kursk Post-graduate student of the Department engineering technologies and equipment  
305040, Kursk, ul. 50 – let Oktyabrya, 94  
Тел. 89611946596  
E-mail: Oav@yandex.ru

**Privalov Alexander Sergeevich**

South-Western state University, Kursk Post-graduate student of the Department engineering technologies and equipment  
305040, Kursk, ul. 50 – let Oktyabrya, 94  
Тел. 89207044651  
E-mail: priwalovalexander@mail.ru

**Shcherbakov Pavel Sergeevich**

South-Western state University, Kursk Post-graduate student of the Department engineering technologies and equipment  
305040, Kursk, ul. 50 – let Oktyabrya, 94  
E-mail: pasharazor46@mail.ru



Е.В. СМОЛЕНЦЕВ, С.Н. ЯЦЕНКО, М.В. КОНДРАТЬЕВ, В.Г. ГРИЦЮК, Д.Е. КРОХИН

## СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА МЕТОДА ОБРАТНОГО ТОЧЕНИЯ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ КОНЕЧНО–ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА

**Аннотация.** В настоящей статье описан новый метод токарной обработки цилиндрической поверхности детали задней поверхностью режущей пластины. Приведен сравнительный анализ классического точения и метода «обратного точения» с точки зрения области рационального применения и комбинированного использования. Проведен конечно–элементный расчет деформаций и внутренних напряжений для сравнения деформаций и напряжений в системе державка–режущая пластина–деталь.

**Ключевые слова:** точение, обратное точение, primeturning, конечно–элементный анализ, области применения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смоленцев В.П., Коптев И.Т., Белякин А.С. Технология производства наукоемких изделий. Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 8. С. 163–166.
2. Баранчиков В.И., Жаринов А.В., Юдина Н.В., Садыхов А.И. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов. Справочник. М.: Машиностроение, 1990г., 400 с.
3. Лузгинов А.В., Ткаченко Ю.С., Яценко С.Н. Использование прогрессивных методов токарной обработки сложнопрофильных деталей. Проблемы и перспективы реализации междисциплинарных исследований. Волгоград 2020, с.20–24.
4. Материалы сайта [www.sandvik.coromant.com](http://www.sandvik.coromant.com).
5. Болдырев А.И., Смоленцев В.П., Болдырев А.А., Мандрыкин А.В. Комбинированная обработка переходных участков деталей машин. Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. Т. 8. № 11. С. 47–50.
6. Мельников В.П., Смоленцев В.П. Направления технологической модернизации наукоемких отраслей машиностроения. Вестник Воронежского государственного технического университета. 2013. Т. 9. № 4. С. 69–73.
7. Кондратьев М.В., Смоленцев Е.В. Повышение износостойкости деталей нанесением тонкопленочного покрытия. В сборнике: Проблемы и перспективы развития машиностроения. Сборник научных трудов международной научно–технической конференции, посвящённой 60–летию Липецкого государственного технического университета. А.М. Корнеев (ответственный редактор). 2016. С. 143–146.
8. Оптимизация процесса нанесения плазменных упрочняющих покрытий. Смоленцев Е.В., Кадырметов А.М., Кондратьев М.В., Бобров Е.С. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2016. № 1 (315). С. 54–59.
9. Gritsyuk V., Smolentsev E., Kondratyev M. Combined process of forming an erosion–plasma wear–resistant coating. В сборнике: Materials Today: Proceedings. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTME 2019. 2019. С. 2491–2494.
10. Смоленцев В.П., Болдырев А.И., Старов В.Н. Технологические методы обеспечения качества изделий авиационно–космической техники. Вестник ВГУ. 2012. Т. 8. № 2. С. 144–148.

**Смоленцев Евгений Владиславович**  
ФГБОУ ВО «Воронежский  
государственный технический  
университет», г. Воронеж.  
Профессор, доктор технических  
наук, кафедра «Технологии  
машиностроения».  
394006, г. Воронеж, ул. 20 лет  
Октября, 84  
Тел. (473) 253–09–73  
E-mail: [vgtukaftm@ya.ru](mailto:vgtukaftm@ya.ru)

**Яценко Светлана Николаевна**  
ФГБОУ ВО «Воронежский  
государственный технический  
университет», г. Воронеж.  
Доцент, кандидат физ–мат.  
наук, кафедра  
«Автоматизированное  
оборудование  
машиностроительного  
производства».  
394006, г. Воронеж, ул. 20 лет  
Октября, 84  
Тел. (473) 246–19–77  
E-mail: [kafedra-ao@mail.ru](mailto:kafedra-ao@mail.ru)

**Кондратьев Михаил Вячеславович**  
ФГБОУ ВО «Воронежский  
государственный технический  
университет», г. Воронеж.  
Доцент кафедры  
«Автоматизированное оборудование  
машиностроительного  
производства», кандидат  
технических наук.  
394006, г. Воронеж, ул. 20 лет  
Октября, 84  
Тел. (473) 254–05–20  
E-mail: [540520@mail.ru](mailto:540520@mail.ru)

ФГБОУ ВО «Воронежский  
государственный технический  
университет», г. Воронеж.  
Зав. каф. «Технологии  
машиностроения», кандидат  
технических наук.  
394006, г. Воронеж, ул. 20 лет  
Октября, 84  
Тел. (473) 253–09–73  
E-mail: vgtukaftm@ya.ru

аспирант кафедры «Технологии  
машиностроения» ФГБОУ ВО  
Воронежского  
государственного технического  
университета, г. Воронеж.  
394006, г. Воронеж, ул. 20 лет  
Октября, 84  
Тел. (473) 253–09–73  
E-mail: vgtukaftm@ya.ru

E.V. SMOLENTSEV, S.N. YATSENKO, M.V. KONDRATYEV, V.G. GRITSYUK, D.E. KROKHIN

## COMPARATIVE ADVANTAGES OF REVERSE TURNING METHOD FROM THE POINT OF VIEW OF FINITE ELEMENT ANALYSIS

**Abstract.** *This article describes a new method for turning a cylindrical surface of a part with the flank of a cutting insert. A comparative analysis of the classic turning and the "back turning" method from the point of view of the field of rational use and combined use is given. A finite element calculation of deformations and internal stresses was carried out to compare deformations and stresses in the holder–cutting plate–part system.*

**Keywords:** *turning, back turning, prime turning, finite element analysis, applications.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Smolentsev V.P., Koptev I.T., Belyakin A.S. Tekhnologiya proizvodstva naukoemkikh izdeliy. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2011. T. 7. № 8. S. 163–166.
2. Baranchikov V.I., Zharinov A.V., Yudina N.V., Sadykhov A.I. Progressivnyye rezhushchiye instrumenty i rezhimy rezaniya metallov. Spravochnik. M.: Mashinostroyeniye, 1990g., 400 s.
3. Luzginov A.V., Tkachenko YU.S., Yatsenko S.N. Ispolzovaniye progressivnykh metodov tokarnoy obrabotki slozhnoprofilnykh detaley. Problemy i perspektivy realizatsii mezhdistsiplinarykh issledovaniy. Volgograd 2020, s.20–24.
4. Materialy sayta www.sandvik.coromant.com.
5. Boldyrev A.I., Smolentsev V.P., Boldyrev A.A., Mandrykin A.V. Kombinirovannaya obrabotka perekhodnykh uchastkov detaley mashin. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2012. T. 8. № 11. S. 47–50.
6. Melnikov V.P., Smolentsev V.P. Napravleniya tekhnologicheskoy modernizatsii naukoemkikh otrasley mashinostroyeniya. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2013. T. 9. № 4. S. 69–73.
7. Kondratyev M.V., Smolentsev Ye.V. Povysheniye iznosostoykosti detaley naneseniyem tonkoplenochnogo pokrytiya. V sbornike: Problemy i perspektivy razvitiya mashinostroyeniya. Sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoy nauchno–tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchonnoy 60–letiyu Lipetskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. A.M. Korneyev (otvetstvennyy redaktor). 2016. S. 143–146.
8. Optimizatsiya protsessa naneseniya plazmennyykh uprochnyayushchikh pokrytiy. Smolentsev Ye.V., Kadyrmetov A.M., Kondratyev M.V., Bobrov Ye.S. Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2016. № 1 (315). S. 54–59.
9. Gritsyuk V., Smolentsev E., Kondratyev M. Combined process of forming an erosion–plasma wear–resistant coating. V sbornike: Materials Today: Proceedings. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2019. 2019. S. 2491–2494.
10. Smolentsev V.P., Boldyrev A.I., Starov V.N. Tekhnologicheskiye metody obespecheniye kachestva izdeliy aviatsionno–kosmicheskoy tekhniki. Vestnik VGTU. 2012. T. 8. № 2. S. 144–148.–kosmicheskoytekhniki. Vestnik VGTU. 2012. T. 8. № 2. S. 144–148.

**Smolentsev Evgeny Vladislavovich**  
«Voronezh State Technical  
University», Voronezh.  
Professor, Doctor of Technical  
Sciences,  
Department of Mechanical  
Engineering Technologies.  
394006, Voronezh, st. 20 years of  
October, 84  
Tel. (473) 253–09–73

**Yatsenko Svetlana Nikolaevna**  
«Voronezh State Technical  
University», Voronezh.  
Associate Professor, PhD in  
Physics and Mathematics,  
Department of Automated  
Equipment  
for Machine–Building  
Production.

**Kondratyev Mikhail Vyacheslavovich**  
«Voronezh State Technical University»,  
Voronezh.  
Associate professor of the department  
«Automated  
equipment for machine–building  
production»,  
candidate of technical sciences.  
394006, Voronezh, st. 20 years of  
October, 84

E-mail: vgtukaftm@ya.ru

394006, Voronezh, st. 20 years of  
October, 84  
Tel. (473) 246-19-77  
E-mail: kafedra-ao@mail.ru

Tel. (473) 254-05-20  
E-mail: 540520@mail.ru

**Gritsyuk Vasily Grigorievich**

«Voronezh State Technical  
University», Voronezh.  
Head department "Technologies of  
mechanical  
engineering", candidate of technical  
sciences.  
394006, Voronezh, st. 20 years of  
October, 84  
Tel. (473) 253-09-73  
E-mail: vgtukaftm@ya.ru

**Krokhin Dmitry Evgenyevich**

Post-graduate student of the  
Department of  
Mechanical Engineering  
Technologies,  
«Voronezh State Technical  
University», Voronezh.  
394006, Voronezh, st. 20 years  
of October, 84  
Tel. (473) 253-09-73  
E-mail: vgtukaftm@ya.ru

УДК 621.822.1

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-52-57

А.А. ВАСИЛЬЕВ

## ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА КАРМАНОВ ВКЛАДЫША ГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ ОПОРЫ С НЕПОЛНЫМ УГЛОМ ОБХВАТА НА СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

**Аннотация.** Проведен сравнительный анализ влияния конструктивного исполнения рабочей поверхности вкладыша гидростатической опоры с неполным углом обхвата на статические и динамические характеристики опоры. В качестве конструктивных исполнений рассматривались прямоугольные карманы с тремя вариантами количества карманов: два, три и четыре. В качестве статических характеристик рассматривались: грузоподъёмность, потери мощности на прокачку и расход рабочей жидкости. В качестве динамических характеристик рассматривались: коэффициенты жесткости и демпфирования. Для расчета характеристик использовались математические модели расчета поля давлений, основанное на совместном решении трёх основных уравнений гидродинамики: уравнении Рейнольдса, уравнении теплового баланса, уравнении баланса расходов и динамическая модель, разработанная для схемы «гибкий ротор – гидростатическая опора с неполным углом обхвата», включающая в себя расчет динамических коэффициентов и определение зоны устойчивой работы опоры.

**Ключевые слова:** гидростатическая опора с неполным углом обхвата, вкладыш, число карманов, давление питания, грузоподъёмность, потери мощности на прокачку, расход, вязкость, плотность, жесткость, демпфирование.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев А.А. Разработка методики расчета поля давлений для неизотермического течения вязкой жидкости в гидростатических подшипниках при обработке крупногабаритных валов паровых турбин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 7. С. 99 – 106.
2. V. Srinivasan. Analysis of Dynamic Load Characteristics on Hydrostatic Bearing with Variable Viscosity and Temperature using Simulation Technique // Indian Journal of Science and Technology. 2013. № 6. Pp. 4797 – 4803.
3. Корнеев А. Ю., Шенбо Ли. Расчёт полей давлений и температур в смазочном слое конических гидростатодинамических подшипников // Вестник Брянского государственного технологического университета. 2017. №1. С. 12 – 24.
4. Xibing Li, Xun Wang, Ming Li, Yunshi Ma, and Ying Huang. The Research Status and Progress of Heavy/Large Hydrostatic Thrust Bearing // Advances in Mechanical Engineering. 2014. №8. Pp. 1 – 9.
5. Waheed Ur Rehman, Guiyun Jiang, Yuanxin Luo, Yongqin Wang, Wakeel Khan, Shafiq Ur Rehman, Nadeem Iqbal. Control of active lubrication for hydrostatic journal bearing by monitoring bearing clearance // Advances in Mechanical Engineering. 2018. № 10. Pp. 1–17.
6. Jian Cao<sup>1</sup>, Xiaocong Zhu, Feiteng Li, Xin Jin. Modeling and constrained optimal design of an ultra-low-friction pneumatic cylinder with air bearing // Advances in Mechanical Engineering. 2019. №11. Pp. 1 – 13.
7. Васильев А. А. Динамика токарной обработки валов паровых турбин на гидростатических опорах с неполным углом обхвата. Металлообработка, 2021, № 1, с. 20 – 25.

8. Jialei DU, Guozhu LIANG. Dynamic coefficients and stability analysis of a water–lubricated hydrostatic bearing by solving the uncoupled Reynolds equation// Chinese Journal of Aeronautics. 2020. №33. Pp. 2110 – 2122.
9. Корнеев А. Ю. Динамические характеристики конических многоклиновых гидродинамических опор жидкостного трения// Российские инженерные изыскания. – 2010. – С. 1 – 8.
10. A. Bouzidane, M. Thomas. Nonlinear Dynamic Analysis of a Rigid Rotor Supported by a Three–Pad Hydrostatic Squeeze Film Dampers// Tribology Transactions. 2013. № 56. Pp. 717 – 727.

**Васильев А.А.**

Санкт–Петербургский Политехнический университет Петра Великого  
Аспирант кафедры Технология машиностроения  
Россия, 195251, г. Санкт–Петербург, ул. Политехническая, д. 29  
Тел. 8 (921) 654–45–99  
E–mail: const333@mail.ru

---

A.A. VASILIEV

## INFLUENCE OF NUMBER OF THE HYDROSTATIC BEARINGS WITH AN INCOMPLETE RANGE ANGLE POCKETS ON STATIC AND DYNAMIC CHARACTERISTICS

**Abstract.** *Comparative analysis of the design of the working surface of the hydrostatic bearings with an incomplete range angle for the static and dynamic characteristics of the bearings. Rectangular pockets with two variants of the number of pockets: two, three and four were considered as constructive designs. The following were considered as static characteristics: load capacity, power losses for pumping and flow rate of the working fluid. As dynamic characteristics were considered: stiffness and damping coefficients. For the models, mathematical calculation models were used based on the joint solution of the basic equations of hydrodynamics: the Reynolds equation, the heat balance equation, the flow rate equation and a dynamic model developed for the "flexible rotor – hydrostatic bearings with an incomplete range angle" scheme, including the calculation of dynamic coefficients and the definition stable support work.*

**Keywords:** *hydrostatic bearing with incomplete range angle, liner, number of pockets, supply pressure, load capacity, pumping power losses, flow rate, viscosity, density, stiffness, damping.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Vasilev A.A. Razrabotka metodiki rascheta polja davlenij dlja neizotermicheskogo techenija vjazkoj zhidkosti v girostaticheskikh podshipnikah pri obrabotke krupnogabaritnyh valov parovyh turbin // Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova. 2021. № 7. S. 99 – 106.
2. V. Srinivasan. Analysis of Dynamic Load Characteristics on Hydrostatic Bearing with Variable Viscosity and Temperature using Simulation Technique // Indian Journal of Science and Technology. 2013. № 6. Pp. 4797 – 4803.
3. Korneev A. Ju., Shenbo Li. Raschjot polej davlenij i temperatur v smazochnom sloe konicheskikh gidrostatodinamicheskikh podshipnikov // Vestnik Brjanskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. 2017. №1. Pp. 12 – 24.
4. Xibing Li, Xun Wang, Ming Li, Yunshi Ma, and Ying Huang. The Research Status and Progress of Heavy/Large Hydrostatic Thrust Bearing // Advances in Mechanical Engineering. 2014. №8. Pp. 1 – 9.
5. Waheed Ur Rehman, Guiyun Jiang, Yuanxin Luo, Yongqin Wang, Wakeel Khan, Shafiq Ur Rehman, Nadeem Iqbal. Control of active lubrication for hydrostatic journal bearing by monitoring bearing clearance // Advances in Mechanical Engineering. 2018. № 10. Pp. 1–17.
6. Jian Cao, Xiaocong Zhu, Feiteng Li, Xin Jin. Modeling and constrained optimal design of an ultra–low–friction pneumatic cylinder with air bearing // Advances in Mechanical Engineering. 2019. №11. Pp. 1 – 13.
7. Vasilev A. A. Dinamika tokarnoj obrabotki valov parovyh turbin na gidrostaticheskikh oporah s nepolnym uglom obhvata. Metalloobrabotka, 2021, № 1, Pp. 20 – 25.
8. Jialei DU, Guozhu LIANG. Dynamic coefficients and stability analysis of a water–lubricated hydrostatic bearing by solving the uncoupled Reynolds equation// Chinese Journal of Aeronautics. 2020. №33. Pp. 2110 – 2122.
9. Korneev A. Ju. Dinamicheskie harakteristiki konicheskikh mnogoklinovyh gidrodinamicheskikh opor zhidkostnogo trenija// Rossijskie inzhenernye izyskanija. – 2010. – Pp. 1 – 8.
10. A. Bouzidane, M. Thomas. Nonlinear Dynamic Analysis of a Rigid Rotor Supported by a Three–Pad Hydrostatic Squeeze Film Dampers// Tribology Transactions. 2013. № 56. Pp. 717 – 727.

**Vasiliev A.A.**

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University  
Post–graduate student of department of mechanical engineering technology

## **МАШИНОВЕДЕНИЕ И МЕХАТРОНИКА**

УДК 621.822

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-58-67

Р.Р. АБДУЛИН, В.А. ПОДШИБНЕВ, С.Л. САМСОНОВИЧ

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА НЕРАВНОМЕРНОСТИ МЕЖДУ РЯДАМИ ТЕЛ КАЧЕНИЙ В ВОЛНОВОЙ ПЕРЕДАЧЕ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ**

**Аннотация.** Работа посвящена актуальной проблеме проектирования исполнительных механизмов вращательного действия на основе волновой передачи с промежуточными телами качения (ВПТК). Представлены теоретические зависимости, позволяющие определить коэффициент неравномерности распределения нагрузки между рядами тел качений в ВПТК. Приведены результаты ресурсных испытаний ВПТК и моделирования конечно-элементным методом, характеризующие неравномерность распределения нагрузки между рядами тел качений. Предложена уточненная зависимость расчета диаметра тел качений в ВПТК, позволяющая учесть неравномерность распределения нагрузки между рядами тел качений.

**Ключевые слова:** волновая передача с телами качения, многорядные механические передачи, многопоточные механизмы, неравномерность распределения нагрузки по рядам тел качений.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Р.В. Кузьмичев, Д.А. Ситин, В.С. Степанов. Исполнительные механизмы петлеобразной формы для приводов самолетов с повышенным уровнем электрификации // Труды МАИ. 2011. № 45.
2. Р.Р. Абдулин, С.Л. Самсонович., В.А. Подшибнев. и др. Электромеханический рулевой привод вращательного действия. Патент РФ №26783854. Оpubл.: 28.01.2019, Бюл. №4
3. Ю.Г. Оболенский, С.Л. Самсонович, В.С. Степанов. Силовой мини-привод подвижной аэродинамической поверхности летательного аппарата. Патент РФ № 2408125 Оpubл. 27.12.2010 Бюл. № 36,
4. Ц.Г. Надараия, И.Я. Шестаков, А.А.Фадеев. Малогабаритный многофункциональный мотор-редуктор // Сибирский журнал науки и технологий. 2014. №2 (54).
5. Ф.И. Плеханов, Е.Ф. Вычужанина, А.С. Сунцов Распределение нагрузки в зацеплениях колес многорядной планетарной передачи и его влияние на технико-экономические показатели механизма // Известия вузов. Машиностроение. 2017. №1 (682). М
6. Н.В. Крылов, В. И. Лалабеков, И. И. Огольцов и др. Электромеханические силовые мини-приводы для «более электрифицированного» самолета под ред. С.Л. Самсоновича. // М.: Изд-во МАИ, 2016. – 360 с.
7. Р.Р. Абдулин, В.А. Подшибнев, С.Л. Самсонович Обоснование принципа действия волновой передачи с промежуточными телами качения как следящей системы «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» № 1 (339) 2020 // с.94–102
8. Р.Р. Абдулин, В.А. Подшибнев, С.Л. Самсонович Исследование крутильной жесткости волновой передачи с промежуточными телами качения «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» № 2 (340) 2020 // с.86–98
9. Машиностроительные материалы. Под редакцией Раскатова В.М.–М.: Машиностроение. 1980 – 512 с.

**Абдулин Рашид Раисович**  
АО Московский научно–  
производственный комплекс  
«Авионика» имени О.В.  
Успенского, ул. Образцова 7,  
127055, Россия, главный  
конструктор, к.т.н.  
abdulin@mnpk.ru

**Подшибнев Владимир Александрович**  
Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский  
университет), Волоколамское шоссе, 4,  
Москва, А–80, ГСП–3, 125993, Россия,  
аспирант,  
АО Московский научно–  
производственный  
комплекс «Авионика» имени О.В.  
Успенского, ул. Образцова 7, 127055,  
Россия,  
ведущий инженер–конструктор КО–1  
podshibneff@mail.ru

**Самсонович Семен Львович**  
Московский авиационный  
институт (национальный  
исследовательский университет),  
Волоколамское шоссе, 4, Москва,  
А–80, ГСП–3, 125993, Россия,  
профессор, д.т.н.,  
samsonovich40@mail.ru

R.R. ABDULIN, V.A. PODSHIBNEV, S.L. SAMSONOVICH

## DETERMINING LOAD DISTRIBUTION UNEVENNESS RATIO BETWEEN ROWS OF ROLLING BODIES IN HARMONIC GEAR WITH INTERMEDIATE ROLLING BODIES

**Abstract.** *The work is devoted to the topical problem of designing rotary actuators based on harmonic gears with intermediate rolling elements (HGR). The theoretical dependences are presented, which make it possible to determine unevenness ratio of the load distribution between the rows of rolling elements in the HGRE. The results of service life tests of the HGRE and modeling by the finite element method, characterizing the uneven distribution of the load between the rows of rolling elements, are given. A refined dependence of the calculation of the diameter of the rolling bodies in the HRGE is proposed, which makes it possible to consider the uneven distribution of the load between the rows of rolling elements.*

**Keywords.** *Harmonic gear with rolling bodies, multi-row mechanical transmissions, multi-threaded mechanisms, uneven distribution of the load over the rows of rolling elements.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Kuzmichev R.V., Sitin D.A., Stepanov V.S. Pivot-type actuating mechanisms for “more electric” aircraft Trudy MAI, 2011, no. 45,
2. R.R. Abdulin, S. L. Samsonovich., V. A. Podshibnev. and other Electromechanical steering drive of rotary action. RU patent No. 26783854. Publ. 28.01.2019, Bul. 4
3. Yu.G. Obolensky, S.L. Samsonovich, V.S. Stepanov. Power mini-drive of the movable aerodynamic surface of the aircraft. RU Patent No. 2408125 Publ 27.12.2010 Byull. No. 36,
4. TS.G. Nadaraia, I. Ya. Shestakov, A.A. Fadeev. Small-sized multifunctional gear motor // Siberian Journal of Science and Technology. 2014. No. 2 (54).
5. F.I. Plekhanov, E.F. Vychuzhanin, A.S. Suntsov Load distribution in the gearing of the wheels of a multi-row planetary gear and its influence on the technical and economic indicators of the mechanism // Izvestiya vuzov. Mechanical engineering. 2017. No. 1 (682). M
6. Krylov N.V., Lalabekov V.I., Ogoltsov I.I. et al. Elektromekhanicheskie silovye mini-privody dlya “bolee elektrifitsirovannogo” samoleta (Electromechanical power mini-drives for “more electrified” aircraft), Moscow, MAI, 2016, 360 p.
7. R.R. Abdulin, V.A. Podshibnev, S.L. Samsonovich Substantiation of the action principle of a harmonic gear with intermediate rolling bodies as a servomechanism "Fundamental and applied problems of engineering and technology" № 1 (339) 2020 // p. 94–102
8. R.R. Abdulin, V.A. Podshibnev, S.L. Samsonovich Research of torsional stiffness of harmonic gear with intermediate rolling bodies "Fundamental and applied problems of engineering and technology" № 2 (340) 2020 // p. 86–98
9. Engineering materials. Edited by VM Raskatov – M.: Mechanical Engineering. 1980 – 512 p.

**Abdulin Rashid Raisovich**  
Moscow joint stock company  
"Avionicsa" named after O.V.  
Uspensky, st. Obraztsova 7,  
127055, Russia, chief  
designer, Ph.D.  
abdulin@mnpk.ru

**Podshibnev Vladimir Alexandrovich**  
Moscow Aviation Institute (National Research  
University), Volokolamsk Highway 4,  
Moscow, A–80, GSP–3, 125993, Russia,  
graduate student,  
Moscow joint stock company "Avionicsa"  
named after O.V. Uspensky, st. Obraztsova 7,  
127055, Russia, engineer  
podshibneff@mail.ru

**Samsonovich Semen Lvovich**  
Moscow Aviation Institute  
(National Research University),  
Volokolamsk Highway 4,  
Moscow, A–80, GSP–3, 125993,  
Russia, Professor, Doctor of  
Technical Sciences,  
samsonovich40@mail.ru

УДК 621.822

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-68-73

М.Э. БОНДАРЕНКО, А.В. СЫТИН, Н.В. ТОКМАКОВ, И.В. РОДИЧЕВА

## ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РОТОРА НА УПОРНЫХ ЛЕПЕСТКОВЫХ ПОДШИПНИКАХ МИКРОТУРБИН

**Аннотация.** *В работе кратко изложено современное состояние систем распределенной энергетики, которая выступает передовым поставщиком электрической и тепловой энергии в малые города, поселки и деревни, промышленные предприятия, животноводческие фермы и т. д. Основным рабочим агрегатом данного типа систем выступают микротурбинные установки малой мощности. Для данных типов установок наиболее критической и ответственной частью является роторно-опорный узел. В статье рассматривается динамическая двухмассовая модель роторно-опорного узла включающего ротор и упорный лепестковый*

подшипник. В модели учтены массы ротора и упругих элементов, приведены результаты моделирования при гармоническом и импульсном возбуждении.

**Ключевые слова:** ротор, модель, динамика, подшипниковый узел, микротурбина.

*Выше представленные материалы получены при работе над проектом в рамках Постановления Правительства РФ №218 «Создание цифровой системы мониторинга, диагностики и прогнозирования состояния технического оборудования с применением технологии искусственного интеллекта на базе отечественных аппаратных и программных средств», договор совместно с ЗАО «Электропривод и Силовая электроника» №4869–2081.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гиршфельд В.Я., Режимы работы и эксплуатации ТЭС: Учебник для вузов. А.М. Князев, В.Е. Куликов – М.: Энергия, 1980. – 288 с.;
2. Горшков А.С. Техничко – экономические показатели тепловых электрических станций. Изд. 2–е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1974. – 240 с.;
3. Безуглов Р.В., Ефимов Н.Н., Паршуков В.И., Папин В.В., Ощепков А.С., Копица В.В., Трофименко Е.С. Малое распределенное энергоснабжение индивидуальных жилых домов / Изв. вузов. Сев.–Кавк. регион. Техн. науки. 2013. № 2. – 132–137 с.;
4. Безуглов Р.В., Ефимов Н.Н., Паршуков В.И., Папин В.В., Янченко И.В., Клиников Р.А., Чумаков Д.Ю., Трофименко Е.С. Микротурбинная установка для эффективного энергоснабжения автономных индивидуальных потребителей / Изв. вузов. Сев.–Кавк. регион. Техн. науки. –2013. –№ 1. – 51–55 с.;
5. Безуглов Р.В., Ефимов Н.Н., Паршуков В.И., Папин В.В., Янченко И.В., Машков А.В., Бундииков А.В. Регулирование и распределение индивидуального, автономного энергопотребления от возобновляемых источников энергии / Изв. вузов. Сев.–Кавк. регион. Техн. науки. –2012. –№ 4. –30–33 с.;
6. НТЦ «Микротурбинные технологии» Обзор и состояние развития современных газотурбинных установок малой мощности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://stc-mtt.ru/publication>, С. 1–45, с. 2, 3, 15, 23;
7. Батенин В.М., Масленников В.М. Проблемы российской энергетики // Российский экономический журнал. 1999. – № 3. – 14–19 с.;
8. Advanced Microturbine Program. Capstone Turbine Corp. Jeff Willis. DOE DE-FC02-00CH11058. DER Peer Review. Washington, D.C., December 2005. Capstone Turbine Corp.;
9. Elliott Energy Systems, Inc. 2901 S.E. Monroe Street Stuart, FL 34997 772–219–9449. [www.tapower.com](http://www.tapower.com). Rick Lucas – Sales Engineer. January 17, 2003;
10. Creating a Turbomachinery Revolution. NASA Facts. National Aeronautics and Space Administration Glenn Research Center. Cleveland, Ohio 44135–3191 FS–2001–07–014–GRC. Research at Glenn Enables an Oil-Free Turbine Engine. FS–2001–07–014–GRC. 2001.;
11. Вейтц, В.Л. Колебательные системы машинных агрегатов / В.Л. Вейтц, А.Е. Кочура, А.И. Федотов // – Ленинград: Издательство Ленинградского университета, 1979. – 256 с.

**Бондаренко Максим Эдуардович**  
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»  
канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры  
мехатроники, механики и робототехники  
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29  
Тел. +79538174922  
E-mail: maxbondarenko22@yandex.ru

**Токмаков Никита Владимирович**  
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»  
студент  
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29  
Тел. +79606489922  
E-mail: stalker.20122@yandex.ru

**Сытин Антон Валерьевич**  
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»  
канд. техн. наук, доцент кафедры мехатроники,  
механики и робототехники  
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29  
Тел. +79192046050  
E-mail: sytin@mail.ru

**Родичева Ирина Владимировна**  
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»  
студент  
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29  
Тел. +7910 26000267  
E-mail: rodfox@yandex.ru

---

M.E. BONDARENKO, A.V. SYTIN, N.V. TOKMAKOV, I.V. RODICHEVA

## JUSTIFICATION OF THE DESIGN SEQUENCE COMBINED SUPPORTS WITH VARIABLE CHARACTERISTICS

**Abstract.** *The paper briefly describes the current state of distributed energy systems, which acts as a leading supplier of electric and thermal energy to small cities, towns and villages, industrial enterprises, livestock farms, etc. The main working unit of this type of systems is low-power microturbine installations. For these types of installations, the most critical and critical part is the rotor-bearing assembly. The article discusses a dynamic two-mass model of a rotor-bearing assembly including a rotor and a thrust paddle bearing. The masses of the rotor and elastic elements are taken into account in the model, and the simulation results are given for harmonic and pulse excitation.*

**Keywords:** *combined support, variable characteristic, calculation sequence, diagram, switching process, dynamic characteristics.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Girshfeld V.Ya., Modes of operation and operation of TPP: Textbook for universities. A.M. Knyazev, V.E. Kulikov – M.: Energy, 1980. – 288 p.
2. Gorshkov A.S. Technical and economic indicators of thermal power plants. Ed. 2nd, rev. and add. – M.: Energiya, 1974.— 240 p.;
3. Bezuglov R.V., Efimov N.N., Parshukov V.I., Papin V.V., Oshchepkov A.S., Kopitsa V.V., Trofimenko E.S. Small distributed power supply of individual residential buildings / *Izv. universities. North Caucasus. region. Tech. science.* 2013. No. 2. – 132–137 p.
4. Bezuglov R.V., Efimov N.N., Parshukov V.I., Papin V.V., Yanchenko I.V., Klinnikov R.A., Chumakov D.Yu., Trofimenko E.S. Microturbine installation for efficient power supply of autonomous individual consumers / *Izv. universities. North Caucasus. region. Tech. science.* –2013. –№ 1. – 51–55 p.
5. Bezuglov R.V., Efimov N.N., Parshukov V.I., Papin V.V., Yanchenko I.V., Mashkov A.V., Bundikov A.V. Regulation and distribution of individual, autonomous energy consumption from renewable energy sources / *Izv. universities. North Caucasus. region. Tech. science.* –2012. –№ 4. –30–33 p.
6. STC "Microturbine Technologies" Review and state of development of modern low–power gas turbine plants. [Electronic resource]. – Access mode: <http://stc-mtt.ru/publication>, pp. 1–45, p. 2, 3, 15, 23;
7. Batenin V.M., Maslennikov V.M. Problems of Russian Energy // *Russian Economic Journal.* 1999. – No. 3. – 14–19 p.
8. Advanced Microturbine Program. Capstone Turbine Corp. Jeff Willis. DOE DE–FC02–00CH11058. DER Peer Review. Washington, D.C., December 2005. Capstone Turbine Corp.;
9. Elliott Energy Systems, Inc. 2901 S.E. Monroe Street Stuart, FL 34997 772–219–9449. [www.tapower.com](http://www.tapower.com). Rick Lucas – Sales Engineer. January 17, 2003;
10. Creating a Turbomachinery Revolution. NASA Facts. National Aeronautics and Space Administration Glenn Research Center. Cleveland, Ohio 44135–3191 FS–2001–07–014–GRC. Research at Glenn Enables an Oil–Free Turbine Engine. FS–2001–07–014–GRC. 2001;
11. Weitz, V.L. Oscillatory systems of machine units / V.L. Weitz, A.E. Kochura, A.I. Fedotov // – Leningrad: Leningrad University Publishing House, 1979. – 256 p.

### **Bondarenko Maxim Eduardovich**

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  
Ph.: +79538174922  
E–mail: maxbondarenko22@yandex.ru

### **Sytin Anton Valerievich**

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  
Ph.: +79192046050  
E–mail: sytin@mail.ru

### **Tokmakov Nikita Vladimirovich**

Orel State University named after I.S. Turgenev  
student  
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
Ph.: +79102606508  
E–mail: stalker.20122@yandex.ru

### **Rodicheva Irina Vladimirovna**

Orel State University named after I.S. Turgenev  
student  
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
Ph.: +79122600267  
E–mail: rodfox@yandex.ru

УДК 621.822

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-74-82

А.В. КОРНАЕВ, Ю.Н. КАЗАКОВ

## **ПОДШИПНИК СКОЛЬЖЕНИЯ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ ЗАЗОРА: РАСЧЕТ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ**

**Аннотация.** *Статья посвящена разработке и верификации математической модели конического подшипника с осевой подачей смазочного материала. Особенностью конструкции подшипника является зависимость среднего зазора от осевого смещения ротора, что делает возможным применение простых актуаторов для управления свойствами жесткости и демпфирования смазочного слоя. Модель основана на обобщении уравнения Рейнольдса, путем интегрирования упрощенных уравнений движения и неразрывности в цилиндрических координатах. Численное решение обобщенного уравнения Рейнольдса методом конечных разностей показало хорошее согласование с результатами других авторов.*



**Ключевые слова:** гидродинамический эффект смазки, конический подшипник жидкостного трения, уравнения математической физики в криволинейных координатах, уравнение Рейнольдса, метод конечных разностей.

*Авторский вклад. А.В. Корнаев: постановка задачи, выбор методов, алгоритм численного решения уравнения Рейнольдса, общее руководство работой. Ю.Н. Казаков: вывод обобщенного уравнения Рейнольдса в цилиндрических координатах, разработка программы и численное решение обобщенного уравнения Рейнольдса, сравнение полученных результатов с результатами других авторов, подготовка рукописи статьи.*

*Данная работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках гранта Президента Российской Федерации № MD –129.2020.8. Авторы с благодарностью признают эту поддержку.*

**MATLAB&SIMULINK License: 40944936**

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Chasalevris and F. Dohnal Improving stability and operation of turbine rotors using adjustable journal bearings / A. Chasalevris and F. Dohnal // Tribol. Int.–2016. vol. 104, pp. 369–382, doi: 10.1016/j.triboint.2016.06.022.
2. A. Chasalevris and F. Dohnal Modal interaction and vibration suppression in industrial turbines using adjustable journal bearings/ A. Chasalevris and F. Dohnal // J. Phys. Conf. Ser.– 2016. vol. 744, no. 1, doi: 10.1088/1742–6596/744/1/012156.
3. R. Pai and D. W. Parkins Performance characteristics of an innovative journal bearing with adjustable bearing elements / R. Pai and D. W. Parkins // J. Tribol. – 2018. vol. 140, no. 4, doi: 10.1115/1.4039134.
4. G. J. Davies GT2004–54322 popularly used active devices for vibration control in rotating / G. J. Davies // Analysis.–2004. pp. 1–10
5. Кучеряев, Б. В. Механика сплошных сред: (теоретические основы обраб. давлением композитных металлов с задачами и решениями, примерами и упражнениями): учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлению "Металлургия" и специальности "Обраб. металлов давлением" / Б. В. Кучеряев; Федеральное агентство по образованию РФ, Московский гос. ин–т стали и сплавов (технологический ун–т). – Москва: МИСИС, 2006. – 599, [2] с.: ил., портр.,
6. Слезкин, Н. А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости./ Н. А Слезкин – Москва, 1955.
7. Корнаев, А. В. Моделирование течений сред сложной реологии в тонких каналах гидромеханических систем: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 15.13.18 / Корнаев Алексей Валерьевич. – Орёл, 2018. – 331 с
8. Кочин Н.Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления / Н.Е. Кочин. – М.: Наука, 1965. – 424 с.
9. Ильин, В.А. и др. Математический анализ. Начальный курс / В.А. Ильин, В.А. Садовничий, Бл. Х. Сендов. Под ред. А.Н. Тихонова. –2 е изд., перераб. – М.: Изд – во МГУ, 1985. – 662 с.
10. Дегтярев, А.А. Метод конечных разностей / А.А. Дегтярев. – Самара, 2011. – 83 с.
11. W.M. Hannon and M.J. Braun Numerical Solution of a Fully Thermally Coupled Generalized Universal Reynolds Equation (GURE) and Its Application. Part 1: Conical Bearing / W.M. Hannon and M.J. Braun // Tribology Transactions – 2007, doi:10.1080/10402000701631742 (2007).

**Корнаев Алексей Валерьевич**

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г Орёл  
Доктор технических наук, профессор кафедры мехатроники, механики и робототехники, старший научный сотрудник НОЦ Интеллектуальных технологий мониторинга и диагностики энергогенерирующего оборудования  
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
Тел. 8 (4862) 41 98 49  
E–mail: rusakor@inbox.ru

**Казаков Юрий Николаевич**

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г Орёл  
Студент  
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
Тел. 8 (4862) 41 98 49  
E–mail: kazakyurii@yandex.ru

---

A.V. KORNAEV, Yu.N. KAZAKOV

**VARIABLE CLEARANCE SLIDE BEARING: CALCULATION OF HYDRODYNAMIC FORCES**

**Abstract.** *The article is devoted to the development and verification of a mathematical model of a tapered bearing with axial lubricant supply. A feature of the bearing design is the dependence of the average clearance on the axial displacement of the rotor, which makes it possible to use simple actuators to control the properties of rigidity and damping of the lubricant layer. The model is based on a generalization of the Reynolds equation by integrating simplified equations of motion and continuity in cylindrical coordinates. Numerical solution of the generalized Reynolds equation by the finite difference method showed good agreement with the results of other authors.*

**Keywords:** *hydrodynamic effect of lubrication, conical bearing of fluid friction, equations of mathematical physics in curvilinear coordinates, Reynolds equation, finite difference method.*

## BIBLIOGRAPHY

1. A. Chasalevris and F. Dohnal Improving stability and operation of turbine rotors using adjustable journal bearings / A. Chasalevris and F. Dohnal // Tribol. Int.–2016. vol. 104, pp. 369–382, doi: 10.1016/j.triboint.2016.06.022.
2. A. Chasalevris and F. Dohnal Modal interaction and vibration suppression in industrial turbines using adjustable journal bearings/ A. Chasalevris and F. Dohnal // J. Phys. Conf. Ser.– 2016. vol. 744, no. 1, doi: 10.1088/1742–6596/744/1/012156.
3. R. Pai and D. W. Parkins Performance characteristics of an innovative journal bearing with adjustable bearing elements / R. Pai and D. W. Parkins // J. Tribol. – 2018. vol. 140, no. 4, doi: 10.1115/1.4039134.
4. G. J. Davies GT2004–54322 popularly used active devices for vibration control in rotating / G. J. Davies // Analysis.–2004. pp. 1–10
5. Kucheryaev B.V. Continuum mechanics: (theoretical foundations of pressure processing of composite metals with problems and solutions, examples and exercises): textbook. for university students studying in the direction of "Metallurgy" and the specialty "Metal working by pressure" / B. V. Kucheryaev – Moscow: MISIS, 2006. – 599, [2] p.
6. Slezkin N.A. Dynamics of a viscous incompressible fluid / N.A. Slezkin – Moscow, 1955.
7. Kornaev A.V. Modeling flows of media of complex rheology in thin channels of hydromechanical systems: dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences: 15.13.18 / Alexey Kornaev. – Orel, 2018. – 331c
8. Kochin N.E. Vector calculus and the beginning of tensor calculus / N.E. Cochin. – M.: Nauka, 1965.— 424 p.
9. Ilyin, V.A. and other Mathematical analysis. Initial course / V.A. Ilyin, V.A. Sadovnichy, Bl. H. Sendov. Ed. A.N. Tikhonov. – Moscow: MSU, 1985. – 662 p.
10. Degtyarev, A.A. Finite Difference Method / A.A. Degtyarev. – Samara, 2011. – 83 p.
11. W.M. Hannon and M.J. Braun Numerical Solution of a Fully Thermally Coupled Generalized Universal Reynolds Equation (GURE) and Its Application. Part 1: Conical Bearing / W.M. Hannon and M.J. Braun // Tribology Transactions – 2007, doi:10.1080/10402000701631742 (2007).

### **Kornaev Alexey Valerievich**

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel  
 Doctor of Sciences in Technology, Professor at the  
 Department of Mechatronics, Mechanics, and Robotics,  
 Senior Researcher of Scientific Educational Center  
 Intelligent technologies for monitoring and diagnostics  
 of power generating equipment  
 302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
 Ph. 8 (4862) 41 98 49  
 E–mail: rusakor@inbox.ru

### **Kazakov Yuri Nickolaevich**

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel  
 Student  
 302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
 Ph. 8 (4862) 41 98 49  
 E–mail: kazakyurii@yandex.ru

УДК 62–251, 621

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-83-87

Л.А. САВИН, Д.Л. КОЗЫРЕВ, А.В. ГОРИН

## **УПРАВЛЯЕМЫЙ ДЕМПФЕР СУХОГО ТРЕНИЯ КАК ЭЛЕМЕНТ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ**

**Аннотация.** *В статье представлен краткий анализ управляемых демпферов. Приведены основные виды управляемых демпферов сухого трения. Приведена их классификация силовых сигналов в демпферах сухого трения. Представлена функциональная схема мехатронной управляемого демпфера сухого трения. Описан алгоритм работы мехатронного демпфера сухого трения. Сделаны выводы и приведены рекомендации по формированию алгоритма работы фрикционного демпфера.*

**Ключевые слова:** *фрикционный демпфер, виброзащита, рычажная подвеска, релаксация, управление, мехатронная система.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусаров, В.И. Виброзащитные механизмы переменного демпфирования систем железнодорожного транспорта / В.И. Гусаров, А.В. Ковтунов, О.П. Мулюкин; под ред. О.П. Мулюкина. – Самара: СамГАСП, 2004. – 178 с.
2. Смирнов, Г.А. Теория движения колесных машин/Г.А. Смирнов.– М.: Машиностроение, 1990.–352 с.
3. Климов, А.В. Динамика рычажной релаксационной подвески с прерывистым демпфированием: дис. ... канд. техн. наук: 01.02.06 / А.В. Климов. – Орел, 2001. – 115 с.
4. Климов, А.В. Влияние массы рычага на динамические характеристики рычажной релаксационной виброзащитной системы / А.В. Климов // Сб. науч. тр., Т.9. – Орел: ОрелГТУ, 1997. – С.156–158.
5. Белозерова, Е.Б. Повышение эффективности виброизоляции виброактивного оборудования за счет прерывистого демпфирования: дис. ... канд. техн. наук: 01.02.06 / Е.Б. Белозерова. – Орел, 2012. – 184 с.
6. Герман–Галкилин, С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК/С.Г. Герман–Галкилин. – СПб.: КОРОНА–Век, 2008. – 368 с.
7. Фрайден, Дж. Современные датчики. Справочник / Дж. Фрайден. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.

**Савин Леонид Алексеевич**  
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»  
доктор техн. наук, профессор  
кафедры мехатроники,  
механики и робототехники  
302020, г.Орёл, Наугорское  
шоссе, 29  
Тел. +79102600267  
E-mail: savin3257@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  
Тел. +7910 2600267  
E-mail: gorin57@mail.ru

**Козырев Дмитрий Леонидович**  
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»  
Учебный мастер  
302020, г.Орёл, Наугорское  
шоссе, 29  
Тел. +79606489922  
E-mail: stalker.20122@yandex.ru

---

L.A. SAVIN, D.L. KOZYREV, A.V. GORIN

## CONTROLLED DRY FRICTION DAMPER AS AN ELEMENT OF A MECHATRONIC SYSTEM

**Abstract.** *The article presents a brief analysis of controlled dampers. The main types of controlled dry friction dampers are presented. Their classification of power signals in dry friction dampers is given. A functional diagram of a mechatronic controlled dry friction damper is presented. An algorithm for the operation of a dry friction mechatronic damper is described. Conclusions are drawn and recommendations are given on the formation of the algorithm for the operation of the friction damper.*

**Keywords:** *friction damper, vibration protection, link suspension, relaxation, control, mechatronic system.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Gusarov, V.I. Vibration protection mechanisms of variable damping of railway transport systems / V.I. Gusarov, A.V. Kovtunov, O. P. Mulyukin; ed. O.P. Mulyukina. – Samara: SamGASP, 2004. – 178 p.
2. Smirnov, G.A. The theory of movement of wheeled vehicles / G.A. Smirnov. – M.: Mechanical Engineering, 1990. – 352 p.
3. Klimov, A.V. Dynamics of a lever relaxation suspension with intermittent damping: dis.... Cand. tech. Sciences: 01.02.06 / A.V. Klimov. – Orel, 2001. – 115 p.
4. Klimov, A.V. The influence of the lever mass on the dynamic characteristics of the lever relaxation vibration protection system / A.V. Klimov // Sat. scientific. tr., T.9. – Orel: Orel State Technical University, 1997. – S.156–158.
5. Belozerova, E.B. Improving the efficiency of vibration isolation of vibroactive equipment due to intermittent damping: dis.... Cand. tech. Sciences: 01.02.06 / E.B. Belozerov. – Orel, 2012. – 184 p.
6. Herman–Galkilin, S.G. Matlab & Simulink. Design of mechatronic systems on a PC / S.G. Herman–Galkilin. – SPb.: KORONA–Vek, 2008. – 368 p.
7. Freiden, J. Modern sensors. Handbook / J. Friden. – M.: Technosphere, 2005. – 592 p.

**Savinin Leonid Alekseevich**  
Orel State University named after I.S. Turgenev  
doctor of technical Sciences,  
professor of the department  
mechatronics, mechanics and robotics  
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
Ph.: +79102600267

**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  
Ph.: +79102600267

**Kozyrev Dmitry Leonidovich**  
Orel State University named after  
I.S. Turgenev  
training master  
302020, Orel, Naugorskoe Shosse,  
29  
Ph.: +79606489922  
E-mail: stalker.20122@yandex.ru

А.Ю. РОДИЧЕВ, Р.Н. ПОЛЯКОВ, А.В. ГОРИН, М.А. ТОКМАКОВА

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕПЕСТКОВОГО ПОДШИПНИКА С ПЛЕНОЧНЫМ АНТИФРИКЦИОННЫМ ПОКРЫТИЕМ

**Аннотация.** *Статья содержит краткий анализ применяемых пленочных антифрикционных покрытий применяемых в машиностроении. Представлена расчетная схема лепесткового подшипника с пленочным антифрикционным покрытием. Показан математический аппарат для моделирования рабочих параметров лепесткового подшипника с пленочным антифрикционным покрытием. Представлены результаты расчета некоторых рабочих режимов и параметров лепесткового подшипника с пленочным антифрикционным покрытием. Даны рекомендации по дальнейшему использованию лепесткового подшипника с пленочным антифрикционным покрытием.*

**Ключевые слова:** *лепестковый подшипник, пленочное покрытие, рабочий параметр, расчетная схема, антифрикционные свойства.*

*Представленные материалы получены при работе над проектом в рамках Постановления Правительства РФ №218 «Создание цифровой системы мониторинга, диагностики и прогнозирования состояния технического оборудования с применением технологии искусственного интеллекта на базе отечественных аппаратных и программных средств», договор совместно с ЗАО «Электропривод и Силовая электроника» №4869–2081.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.. Хейфец, М.Л. Классификация полимерных композиционных материалов, используемых в FDM технологии //М.Л.Хейфец, Н.Л.Грецкий, Д.С. Ратуцкая, Ф.Л. Баранов, А.И. Гутковский /Перспективы развития аддитивных технологий в Республике Беларусь. сборник докладов международного научно–практического симпозиума. Национальная академия наук Беларуси, ГНПО порошковой металлургии. Минск, 2020. С. 141–149.
2. Дожделев, А.М., Лаврентьев, А.Ю. Обзор расходных материалов для 3D печати методом послойного наплавления //Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 8–2. С. 16–18.
- 3..Дожделев, А.М. Оптимальный выбор пластика для 3D печати // А.М. Дожделев, А.Ю. Лаврентьев / Гарантия успеха –2019. Сборник научных трудов 6–й Международной молодежной научной конференции. Юго–Западный государственный университет. 2019. С. 180–183.
- 4 Ильясова, А.В., Белицкая, О.А Исследование современного рынка пластиков, используемых для 3D печати// Концепции, теория, методики фундаментальных и прикладных научных исследований в области инклюзивного дизайна и технологий: сборник научных трудов по итогам Международной научно–практической заочной конференции (25–27 марта 2020 г.). Часть 1 – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2020. С. 36–41.
5. Балашов, А.В Исследование структуры и свойств изделий, полученных 3D–печатью // А.В. Балашов, М.И. Маркова / Инженерный вестник Дона, 2019. С.56–63.
6. Ерофеев, В.Т Исследование физико–механических характеристик образцов из полиактида в аддитивной технологии// В.Т.Ерофеев, Т.Ф. Ельчишева, Е.М.Преображенская/ Строительные материалы и изделия №3(40), 2019, С. 92–101.
7. Агишева, Д. К. Математическая статистика: учеб. пособие /Д.К. Агишева, С.А. Зотова, Т.А. Матвеева, В.Б. Светличная; ВПИ (филиал) ВолгГТУ. – Волгоград, 2010 – 159 с.
8. Межецкий, Г.Д. Сопrotивление материалов: Учебник / Г.Д. Межецкий, Г.Г. Загребин, Н.Н. Решетник; под общ. Ред. Г.Д. Межецко–го, Г.Г. Загребина.– 5–е изд., – М. 2016.– 432с.
9. Григолюк, Э. И..Контактные задачи теории пластин и оболочек / Э. И. Григолюк, В. М. Толкачев – М.: Машиностроение, 1980. 411 с.
10. Редклиф В. Гидростатические подшипники криогенных турбонасосов ракетных двигателей / Редклиф В.// Проблемы трения и смазки. 1970, №3, с. 206 – 227.

**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  
Тел. +79534145257

**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: rodfox@yandex.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  
Тел. +7910 2600267  
E-mail: gorin57@mail.ru

E-mail: romanpolak@mail.ru

**Токмакова Мария Андреевна**  
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»,  
аспирант  
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29  
Тел. +7910 2600267  
E-mail: mashagorina0908@gmail.com

---

A. Yu. RODICHEV, R.N. POLYAKOV, A.V. GORIN, M.A. TOKMAKOVA

## **STUDY OF THE CHARACTERISTICS OF THE FLAP BEARING WITH FILM ANTI-FRICTION COATING**

**Abstract.** *The article contains a brief analysis of the applied film antifriction coatings used in mechanical engineering. The design diagram of a petal bearing with an antifriction film coating is presented. The mathematical apparatus for modeling the operating parameters of a petal bearing with an antifriction film coating is shown. The results of calculating some operating modes and parameters of a petal bearing with an antifriction film coating are presented. Recommendations are given for the further use of a petal bearing with an antifriction film coating.*

**Keywords:** *petal bearing, film coating, operating parameter, design diagram, antifriction properties.*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Kheifets, M.L. Classification of polymer composite materials used in FDM technology // M.L. Kheifets, N.L. Gretskiy, D.S. Ratutskaya, F.L. Baranov, A.I. Gutkovsky / Prospects for the development of additive technologies in the Republic of Belarus. collection of reports of the international scientific and practical symposium. National Academy of Sciences of Belarus, State Scientific and Production Association of Powder Metallurgy. Minsk, 2020.S. 141–149.
2. Dozhdelev, A.M., Lavrentev, A.Yu. Review of consumables for 3D printing by layer-by-layer deposition // International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2019. No. 8–2. S. 16–18.
3. Dozhdelev, A.M. Optimal choice of plastic for 3D printing // A.M. Dozhdelev, A. Yu. Lavrentiev / Guarantee of success –2019. Collection of scientific papers of the 6th International Youth Scientific Conference. Southwest State University. 2019.S. 180–183.
4. Ilyasova, A.V., Belitskaya, O.A. Research of the modern market of plastics used for 3D printing // Concepts, theory, methods of fundamental and applied scientific research in the field of inclusive design and technologies: a collection of scientific papers based on the results of the International scientific and practical correspondence conference (March 25–27, 2020). Part 1 – M.: RSU im. A.N. Kosygin, 2020.S. 36–41.
5. Balashov, A. Investigation of the structure and properties of products obtained by 3D printing. Balashov, M.I. Markova / Engineering Bulletin of the Don, 2019, pp. 56–63.
6. Erofeev, V.T. Investigation of physical and mechanical characteristics of polyactide samples in additive technology // V.T. Erofeev, T.F. Elchisheva, E.M. Preobrozhenskaya / Building materials and products No. 3 (40), 2019, pp. 92–101.
7. Agisheva, D.K. Mathematical statistics: textbook. manual / D.K. Agisheva, S.A. Zotova, T.A. Matveeva, V.B. Svetlichnaya; VPI (branch) VolgSTU. – Volgograd, 2010 – 159 p.
8. Mezheritsky, G.D. Resistance of materials: Textbook / G.D. Mezheritsky, G.G. Zagrebin, N.N. Lattice; under total. Ed. G. D. Mezheritsky, G.G. Zagrebin. – 5th ed., – M. 2016.– 432s.
9. Redcliffe V. Hydrostatic bearings of cryogenic turbopumps of rocket engines / Redcliffe V. // Problems of friction and lubrication. 1970, no. 3, p. 206 – 227.
10. Grigolyuk, E. I. Contact problems of the theory of plates and shells. Moscow: Mashinostroenie, 1980.411 p.

**Rodichev Alexey Yurevich**  
Orel State University named after I.S. Turgenev  
candidate of technical Sciences, associate professor of  
the department service and repair of cars  
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
Ph.: +79534145257  
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  
Ph.: ++79038819381  
E-mail: romanpolak@mail.ru

**Gorin Andrei Vladimirovich**  
Orel State University named after I.S. Turgenev

**Tokmakova Maria Andreevna**  
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  
Ph.: +79102600267  
E-mail: gorin57@mail.ru

graduate student  
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
Ph.: +79102600267  
E-mail: mashagorina0908@gmail.com

УДК 621.822

DOI:10.33979/2073-7408-2021-349-5-95-102

А.В. КОРНАЕВ, Л.А. САВИН, Ю.Н. КАЗАКОВ

## ПОДШИПНИК СКОЛЬЖЕНИЯ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ ЗАЗОРА: МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

**Аннотация.** В статье рассматривается разработка имитационной модели для конического подшипника жидкостного трения. Работа включает в себя основные этапы моделирования жидкостной пленки в подшипниковом узле, моделирование динамики ротора. Представлен способ твердотельного моделирования объектов в среде Simulink. Представлены результаты по аппроксимации решения уравнения Рейнольдса искусственными нейронными сетями. В качестве результатов моделирования представлены графики движения ротора а также взаимосвязи момента трения и осевого смещения вала.

**Ключевые слова:** конический подшипник жидкостного трения, математическое моделирование, моделирование роторных систем, опоры с изменяемой геометрией.

*Данная работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках гранта Президента Российской Федерации № MD –129.2020.8. Авторы с благодарностью признают эту поддержку.*

**MATLAB&SIMULINK License: 40944936**

*Авторский вклад. А.В. Корнаев: разработка алгоритма динамической системы с управлением, общее руководство исследованием. Савин Л.А.: разработка концепции управляемого конического подшипника. Ю.Н. Казаков: разработка модели подшипника в среде SIMULINK, проведение тестов модели, разработка системы управления на основе DQN-learning, подготовка рукописи статьи.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ł. Breńkacz, Ł. Witanowski, M. Drosińska-Komor, and N. Szewczuk-Krypa Research and applications of active bearings: A state-of-the-art review/ Ł. Breńkacz, Ł. Witanowski, M. Drosińska-Komor, and N. Szewczuk-Krypa // Mech. Syst. Signal Process.– 2021. vol. 151, doi: 10.1016/j.ymssp.2020.107423.
2. F. Qin, Y. Li, H. Qi, and L. Ju Advances in compact manufacturing for shape and performance controllability of large-scale components—a review / F. Qin, Y. Li, H. Qi, and L. Ju // Chinese J. Mech. Eng. (English Ed., vol. 30, no. 1, pp. 7–21) –2017. doi: 10.3901/CJME.2016.1102.128.
3. A. Chasalevris and F. Dohnal Improving stability and operation of turbine rotors using adjustable journal bearings / A. Chasalevris and F. Dohnal // Tribol. Int.–2016. vol. 104, pp. 369–382, doi: 10.1016/j.triboint.2016.06.022.
4. A. Chasalevris and F. Dohnal Modal interaction and vibration suppression in industrial turbines using adjustable journal bearings/ A. Chasalevris and F. Dohnal // J. Phys. Conf. Ser.– 2016. vol. 744, no. 1, doi: 10.1088/1742–6596/744/1/012156.
5. R. Pai and D. W. Parkins Performance characteristics of an innovative journal bearing with adjustable bearing elements / R. Pai and D. W. Parkins // J. Tribol. – 2018. vol. 140, no. 4, doi: 10.1115/1.4039134.
6. G. J. Davies GT2004–54322 popularly used active devices for vibration control in rotating / G. J. Davies // Analysis.–2004. pp. 1–10
7. Кучеряев, Б. В. Механика сплошных сред: (теоретические основы обраб. давлением композитных металлов с задачами и решениями, примерами и упражнениями): учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлению "Металлургия" и специальности "Обраб. металлов давлением" / Б. В. Кучеряев; Федеральное агентство по образованию РФ, Московский гос. ин-т стали и сплавов (технологический ун-т). – Москва: МИСИС, 2006. – 599, [2] с.: ил., портр.,
8. Hori, Y. Hydrodynamic Lubrication [Text] / Y. Hori. – Tokyo: Yokendo Ltd, 2006 – 239 p.
9. W.M. Hannon and M.J. Braun Numerical Solution of a Fully Thermally Coupled Generalized Universal Reynolds Equation (GURE) and Its Application. Part 1: Conical Bearing / W.M. Hannon and M.J. Braun // Tribology Transactions – 2007, doi:10.1080/10402000701631742 (2007).
10. nnstart //MathWorks. Help Center [сайт]. URL <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/nnstart.html> (дата обращения 23.06.2021)
11. smimport //MathWorks. Help Center [сайт]. URL <https://www.mathworks.com/help/physmod/sm/ref/smimport.html> (дата обращения 23.06.2021)
12. RL Agent //MathWorks. Help Center [сайт].–URL <https://www.mathworks.com/help/reinforcement-learning/ref/rlagent.html> (дата обращения 23.06.2021)

**Корнаев Алексей Валерьевич**  
ФГБОУ ВО «Орловский  
государственный университет имени  
И.С. Тургенева», г Орёл  
Доктор технических наук, профессор  
кафедры мехатроники, механики и  
робототехники, старший научный  
сотрудник НОЦ Интеллектуальных  
технологий мониторинга и  
диагностики энергогенерирующего  
оборудования  
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
Тел. 8 (4862) 41 98 49  
E-mail: rusakor@inbox.ru

**Савин Леонид Алексеевич**  
ФГБОУ ВО «Орловский  
государственный университет  
имени И.С. Тургенева», г Орёл  
д.т.н., профессор, профессор  
кафедры мехатроники,  
механики и робототехники  
302020, г. Орел, Наугорское  
шоссе, 29  
8(4862) 41–98–49  
E-mail: savin3257@mail.ru

**Казаков Юрий Николаевич**  
ФГБОУ ВО «Орловский  
государственный университет  
имени И.С. Тургенева», г Орёл  
Студент  
302020, г. Орел, Наугорское  
шоссе, 29  
Тел. 8 (4862) 41 98 49  
E-mail: kazakyurii@yandex.ru

---

A.V. KORNAEV, L.A. SAVIN, Yu.N. KAZAKOV

## VARIABLE CLEARANCE SLIDING BEARING: SIMULATION OF A CONTROL SYSTEM

**Abstract.** *The article discusses the development of a simulation model for a tapered bearing of fluid friction. The work includes the main stages of modeling a liquid film in a bearing assembly, modeling the dynamics of a rotor. A method for solid modeling of objects in the Simulink environment is presented. The results of the approximation of the solution of the Reynolds equation by artificial neural networks are presented. As the simulation results, the graphs of the rotor movement as well as the relationship between the friction torque and the axial displacement of the shaft are presented.*

**Keywords:** *hydrodynamic effect of lubrication, conical bearing of fluid friction, simulation of rotor systems, variable geometry bearings, DQN-learning.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Ł. Breńkacz, Ł. Witanowski, M. Drosińska-Komor, and N. Szewczuk-Krypa Research and applications of active bearings: A state-of-the-art review / Ł. Breńkacz, Ł. Witanowski, M. Drosińska-Komor, and N. Szewczuk-Krypa // Mech. Syst. Signal Process.– 2021. vol. 151, doi: 10.1016/j.ymsp.2020.107423.
2. F. Qin, Y. Li, H. Qi, and L. Ju Advances in compact manufacturing for shape and performance controllability of large-scale components—a review / F. Qin, Y. Li, H. Qi, and L. Ju // Chinese J. Mech. Eng. (English Ed., vol. 30, no. 1, pp. 7–21) –2017. doi: 10.3901/CJME.2016.1102.128.
3. A. Chasalevris and F. Dohnal Improving stability and operation of turbine rotors using adjustable journal bearings / A. Chasalevris and F. Dohnal // Tribol. Int.–2016. vol. 104, pp. 369–382, doi: 10.1016/j.triboint.2016.06.022.
4. A. Chasalevris and F. Dohnal Modal interaction and vibration suppression in industrial turbines using adjustable journal bearings/ A. Chasalevris and F. Dohnal // J. Phys. Conf. Ser.– 2016. vol. 744, no. 1, doi: 10.1088/1742-6596/744/1/012156.
5. R. Pai and D. W. Parkins Performance characteristics of an innovative journal bearing with adjustable bearing elements / R. Pai and D. W. Parkins // J. Tribol. – 2018. vol. 140, no. 4, doi: 10.1115/1.4039134.
6. G. J. Davies GT2004–54322 popularly used active devices for vibration control in rotating / G. J. Davies // Analysis.–2004. pp. 1–10
7. Kucheryaev B.V. Continuum mechanics: (theoretical foundations of pressure processing of composite metals with problems and solutions, examples and exercises): textbook. for university students studying in the direction of "Metallurgy" and the specialty "Metal working by pressure" / B. V. Kucheryaev – Moscow: MISIS, 2006. – 599, [2] p.
8. Hori, Y. Hydrodynamic Lubrication [Text] / Y. Hori. – Tokyo: Yokendo Ltd, 2006 – 239 p.
9. W.M. Hannon and M.J. Braun Numerical Solution of a Fully Thermally Coupled Generalized Universal Reynolds Equation (GURE) and Its Application. Part 1: Conical Bearing / W.M. Hannon and M.J. Braun // Tribology Transactions – 2007, doi:10.1080/10402000701631742 (2007).
10. nnstart //MathWorks. Help Center–URL <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/nnstart.html>
11. smimport //MathWorks. Help Center–URL <https://www.mathworks.com/help/phismod/sm/ref/smimport.html>
12. RL Agent //MathWorks. Help Center–URL <https://www.mathworks.com/help/reinforcement-learning/ref/rlagent.html>

**Kornaev Alexey Valerievich**  
Orel State University named after I.S.  
Turgenev, Orel

**Savin Leonid Alekseevich**  
Orel State University named after  
I.S. Turgenev, Orel

**Kazakov Yuri Nikolaevich**  
Orel State University named  
after I.S. Turgenev, Orel

Doctor of Sciences in Technology, Professor at the Department of Mechatronics, Mechanics, and Robotics, Senior Researcher of Scientific Educational Center Intelligent technologies for monitoring and diagnostics of power generating equipment  
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
Ph. 8 (4862) 41 98 49  
E-mail: rusakor@inbox.ru

Doctor of sciences, professor, professor at the department of mechatronics, mechanics and robotics  
302020, Orel, Naugorskoye shosse, 29  
8(4862) 41-98-49  
E-mail: savin3257@mail.ru

Student  
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29  
Ph. 8 (4862) 41 98 49  
E-mail: kazakyurii@yandex.ru

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

УДК 338.512(045)

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-103-108

А.В. РУССКИН

### **КОМПЛЕКС ПРОГРАММНО–АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ШВЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

***Аннотация.** В статье представлен подход к созданию автоматизированного программно–аппаратного комплекса контроля и обработки данных для выполнения функций планирования и управления производственными процессами на предприятии швейной промышленности. Сбор данных с автоматизированных рабочих мест, учёт индивидуальных характеристик трудовой деятельности работников предприятия, централизованная обработка данных, позволяют осуществлять контроль за функционированием предприятия в режиме реального времени и выполнять прогнозирование сроков и стоимости изготовления новых видов изделий.*

**Ключевые слова:** информационно–измерительная система, высотный полет, индикатор резервного времени, авиационное оборудование, безопасность высотного полета.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Бурова О.А. Анализ готовности и обоснование необходимости перехода экономики отраслей промышленности к использованию цифровых технологий // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, № 2. – С.39–45.
2. Тархан Л.З., Падерин В.Н. Основы современного производства. Швейная промышленность: учеб. пособие. – С–Пб.: Издательство Лань, 2019. – 144 с.
3. Филимонова Н.М., Гаврилин Е.В., Петрова А.Т. Гибкость предприятия – как фактор эффективности функционирования предприятий текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 2. – С. 109–112.
4. Мартинов Г.М., Акрам А.Х., Ахед И. Удаленное управление сервоприводами CAN и мониторинг их работы на основе микрокомпьютеров ARM и с использованием протокола OPC UA // Автоматизация в промышленности. – 2019, № 10. – С. 30–33.
5. Ларкин Е.В., Богомолов А.В., Антонов М.А. Буферизация данных в системах управления роботами // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2017. № 9–1. – С. 117–127.
6. Мартинов Г.М. Цифровые производственные технологии согласно концепции Industry 4.0 // Автоматизация в промышленности. – 2019, № 5. – С. 3–5.
7. Ларкин Е.В., Богомолов А.В., Горбачев Д.В., Антонов М.А. О приближении потока событий к пуассоновскому в цифровых системах управления роботами // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2017, № 9–1. – С. 3–13.
8. Мартинова Л.И., Мартинов Г.М. Мировые тренды, возможности и перспективы развития систем ЧПУ станочного оборудования // СТИН. – 2019, № 7. – С. 28–31.
9. Ларкин Е.В., Привалов А.Н., Богомолов А.В. Дискретный подход к моделированию синхронизированных эстафет // Научно–техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. – 2020, № 2. – С. 17–26.



10. Чистякова Т.Б., Новожилова И.В., Козлов В.В., Лактионов Н.В. Программный комплекс для управления электросталеплавленным процессом в дуговой печи // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2019, № 51 (77). – С. 82–89.

**Рускин Алексей Витальевич**

Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные системы управления»  
440039, Пенза, пр-д Байдукова, 1А  
Тел. +7(841)249–54–41  
E-mail: shishovec@rambler.ru

---

A.V. RUSSKIN

**A SET OF SOFTWARE AND HARDWARE TOOLS FOR AUTOMATING SEWING PRODUCTION PROCESSES**

**Abstract.** *The article describes an approach to creating an automated software and hardware complex for monitoring and processing data to perform the functions of planning and managing production processes in the enterprise of the clothing industry. Data collection from automated workplaces, taking into account the individual characteristics of the working activity of the company's employees, centralized data processing, allow you to monitor the functioning of the enterprise in real time and to perform forecasting of terms and cost of manufacturing new types of products.*

**Keywords:** *flexible industrial systems, automation of digital production, production automation software and hardware complexes, automated systems of technological preparation of production, automated working place.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Burova O.A. Analiz gotovnosti i obosnovaniye neobkhodimosti perekhoda ekonomiki otrasley promyshlennosti k ispolzovaniyu tsifrovyykh tekhnologiy // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti. – 2019, № 2. – S. 39–45.
2. Tarkhan L.Z., Paderin V.N. Osnovy sovremennogo proizvodstva. Shveynaya promyshlennost: ucheb. posobiye. – S-Pb.: Izdatelstvo Lan, 2019. – 144 s.
3. Filimonova N.M., Gavrilin Ye.V., Petrova A.T. Gibkost predpriyatiya – kak faktor effektivnosti funktsionirovaniya predpriyatiy tekstilnoy promyshlennosti // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti. – 2018, № 2. – S. 109–112.
4. Martinov G.M., Akram A.KH., Akhed I. Udalennoye upravleniye servoprivodami CAN i monitoring ikh raboty na osnove mikrokompyuterov ARM i s ispolzovaniyem protokola OPC UA // Avtomatizatsiya v promyshlennosti. – 2019, № 10. – S. 30–33.
5. Larkin Ye.V., Bogomolov A.V., Antonov M.A. Buferizatsiya dannykh v sistemakh upravleniya robotami // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. – 2017, № 9–1. – S. 117–127.
6. Martinov G.M. Tsifrovyye proizvodstvennyye tekhnologii soglasno kontseptsii Industry 4.0 // Avtomatizatsiya v promyshlennosti. – 2019, № 5. – S. 3–5.
7. Larkin Ye.V., Bogomolov A.V., Gorbachev D.V., Antonov M.A. O priblizhenii potoka sobyitiy k puassonovskomu v tsifrovyykh sistemakh upravleniya robotami // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. – 2017, № 9–1. – S. 3–13.
8. Martinova L.I., Martinov G.M. Mirovyye trendy, vozmozhnosti i perspektivy razvitiya sistem CHPU stanochnogo oborudovaniya // STIN. – 2019, № 7. – S. 28–31.
9. Larkin Ye.V., Privalov A.N., Bogomolov A.V. Diskretnyy podkhod k modelirovaniyu sinkhronizirovannykh estafet // Nauchno–tekhnicheskaya informatsiya. Seriya 2: Informatsionnyye protsessy i sistemy. – 2020, № 2. – S. 17–26.
10. Chistyakova T.B., Novozhilova I.V., Kozlov V.V., Laktionov N.V. Programmnyy kompleks dlya upravleniya elektrostaleplavilnym protsessom v dugovoy pechi // Izvestiya Sankt–Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta). – 2019, № 51 (77). – S. 82–89.

**Russkin Alexey Vitalievich**

Penza State Technological University, Penza  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Automated Control Systems»  
440039, Penza, Baidukov avenue, 1A  
Tel. +7(841)249–54–41  
E-mail: shishovec@rambler.ru

Д.И. СУРЖИК, О.Р. КУЗИЧКИН, Г.С. ВАСИЛЬЕВ, М.Д. БАКНИН, Е.С. ПАНЬКИНА

## РЕГИСТРАЦИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ФАЗОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ В СИСТЕМАХ ЛОКАЛЬНОГО ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

**Аннотация.** В статье рассмотрены принципы обработки регистрируемых сигналов в системах локального геоэкологического мониторинга для формирования фазовых изображений геодинамических процессов. Отмечена важность непрерывного наблюдения и контроля за влиянием геодинамических процессов на природные ресурсы и инфраструктурные инженерно–технические объекты в процессе их взаимодействия. Показано, что эффективным вариантом осуществления локального геоэкологического мониторинга за данными процессами является применение современных систем, основанных на использовании геоэлектрических методов контроля, обладающих высокой чувствительностью к изменениям электрических свойств контролируемых объектов. Наряду с достоинствами данных методов отмечены и их недостатки при контроле амплитуд, в частности, сложность решения мониторинговых задач при наличии регулярных помеховых воздействий, изменениях климатических факторов и вариациях параметров конкретной измерительной установки, в связи с чем показана перспективность применения метода на основе контроля фазы, обладающего более высокой чувствительностью и помехозащищенностью. Дано математическое описание фазометрического метода, разработаны структурные схемы и функциональные модели, которые могут быть использованы для практической реализации измерительных трактов систем локального геоэкологического мониторинга различных геодинамических процессов. Предлагаемый подход был успешно экспериментально апробирован в процессе исследования макета фазометрической измерительной системы для контроля геодинамических карстовых процессов в прибрежной зоне озера Свято Нижегородской области, показавшего его высокую чувствительность к регистрации изменений фазовых изображений для крайне малых геодинамических процессов естественного и искусственного происхождения.

**Ключевые слова:** геоэкологический мониторинг, геоэлектрика, фазометрический метод, функциональное моделирование, карстовые процессы.

*Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания FZWG –2020–0029 "Разработка теоретических основ построения информационно–аналитического обеспечения телекоммуникационных систем геоэкологического мониторинга природных ресурсов в сельском хозяйстве".*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьмин, Ю.О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании / Ю.О. Кузьмин. –М.: АЭН, 1999. – 220 с.
2. Королев, В.А. Мониторинг геологической среды / В.А. Королев. – М.: Изд–во МГУ, 1995.
3. Болдырев, Г.Г. Геотехнический мониторинг / Г.Г. Болдырев, А.А. Живаев // Инженерные изыскания. – №8. – 2013. –С.40–45.
4. Хмелевской, В.К. Геофизические методы исследований: учеб. пособие / В.К. Хмелевской. – Петропавлоск–Камчатский: Изд–во КГПУ, 2004. –232 с.
5. Хмелевской, В.К. Основы геофизических методов: учебник для вузов / В.К. Хмелевской, В.И. Костицын. –Перм. ун–т. Пермь, 2010. – 400 с.
6. Хмелевской, В.К. Электроразведка. Справочник геофизика в двух книгах. – 2–е издание / В.К. Хмелевской, В.М. Бондаренко. – М.: Недра, 1989.
7. Долгаль, А.С. Комплексование геофизических методов: учеб. пособие / А.С. Долгаль. – Перм. гос. нац. исслед. ун–т. Пермь, 2012. – 167 с.
8. Никитин, А.А. Комплексование геофизических методов. Учебник для вузов. – 2–е изд. испр. и доп. / А.А., Никитин, В.К. Хмелевской. – М.: ВНИИгеосистем, 2012. – 346 с.
9. Поздняков, А.И. Электрофизические свойства некоторых почв / А.И. Поздняков. – Москва–Баку «Адилъоглы», 2004. – 240 с.
10. Dorofeev, N.V. Method of phase control of an electrical installation during geodynamic monitoring / N.V. Dorofeev, A.V. Grecheneva, O.R. Kuzichkin, R.V. Romanov, D.I. Surzhik // 2nd International Conference on Functional Materials and Chemical Engineering 2018 (ICFMCE 2018). –2019. – Book series: MATEC Web of Conferences. – Volume: 272.

11. Baknin, M.D. Compensation method for selecting trend geoelectric signals in the geodynamic monitoring system / M.D. Baknin, O.R. Kuzichkin, I.A. Kurilov, D.I. Surzhik // International Multiconference on Industrial Engineering and Modern Technologies 2019, FarEastCon 2019.– 2019. – 8934365.
12. Vasiliev, G.S. The practice of using a multi-pole electrical installation for monitoring the coastal zone of karst lakes / G.S. Vasiliev, O.R. Kuzichkin, R.V. Romanov, N.V. Dorofeev, A.V. Grecheneva // 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM 2018). –2018. – Issue. 1.2. – Pp. 727–734.
13. Vasiliev, G.S. Results of modeling the phasometric method for controlling the development of suffusion processes / G.S. Vasiliev, O.R. Kuzichkin, M.D. Baknin, N.V. Dorofeev, A.V. Grecheneva // 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM 2018). – 2018. – Issue. 5.2. – Pp. 827–834.
14. Kuzichkin, O.R. Application of phasometric measuring systems for geodynamic control of karst processes / O.R. Kuzichkin, A.V. Grecheneva, E.S. Mikhaleva, N.V. Dorofeev, B.D. Maxim // Journal of Engineering and Applied Sciences–2017. – Volume 12, Special Issue 4. – Pp. 6858–6863.
15. Kuzichkin, O.R. Assessment of the probability of collapse of karst cavities at technogenic cyclic loads below the endurance limit / O.R. Kuzichkin, N.V. Dorofeev, A.V. Grecheneva, R.V. Romanov, D.I. Surzhik // 2nd International Conference on Functional Materials and Chemical Engineering 2018 (ICFMCE 2018). – 2019. – Book series: MATEC Web of Conferences. –Volume: 272. – №01007.
16. Аникеев, А.В. Провалы и воронки оседания в карстовых районах: механизмы образования, прогноз и оценка риска / А.В. Аникеев. – Российская академия наук институт геологии им. Е.М. Сергеева (ИГЭ РАН), 2017. – 328 с.
17. Толмачев, В.В. Инженерное карстование / В.В. Толмачев, Ф. Ройтер. – М.: «Недра», 1990. – 151 с.
18. Чикишев, А.Г. Карст Русской равнины / А.Г. Чикишев. – М.: «Наука», 1978. – 196 с.
19. Хоменко, В.П. Противокарстовая и противосуффозионная защита в России: история и современность / В.П. Хоменко // Вестник МГСУ. – 2011. – Том 13, Вып. 4(115). – С. 482–489.

**Суржик Дмитрий Игоревич**

Кандидат технических наук, Доцент кафедры УКТС Муромский институт (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром.  
Тел.8–919–007–48–66  
E–mail: arzerum@mail.ru

**Васильев Глеб Сергеевич**

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник «НИУ БелГУ»  
Белгородский национальный исследовательский университет, г. Белгород.  
Тел.8–915–751–66–47  
E–mail: vasilievgleb@yandex.ru

**Панькина Екатерина Сергеевна**

Заместитель директора департамента научной коммуникации и издательской деятельности «НИУ БелГУ»  
Белгородский национальный исследовательский университет, г. Белгород.  
Тел.8–910–369–16–64  
E–mail: pankina@bsu.edu.ru

**Кузичкин Олег Рудольфович**

Доктор технических наук, Профессор, ведущий научный сотрудник «НИУ БелГУ»  
Белгородский национальный исследовательский университет, г. Белгород.  
Тел.8–910–171–39–45  
E–mail: Kuzlchkin@bsu.edu.ru

**Бакнин Максим Дмитриевич**

Аспирант, младший научный сотрудник «НИУ БелГУ»  
Белгородский национальный исследовательский университет, г. Белгород.  
Тел. 8–920–923–19–02  
E–mail: m.baknin@yandex.ru

---

D.I. SURZHİK, O.R. KUZICHKIN, G.S. VASILIEV, M.D. BAKNIN, E.S. PANKINA

**REGISTRATION OF GEODYNAMIC PROCESSES  
BY THE PHASOMETRIC METHOD IN LOCAL GEOECOLOGICAL  
MONITORING SYSTEMS**

**Abstract.** *The article discusses the principles of processing recorded signals in local geoeological monitoring systems for the formation of phase images of geodynamic processes. The importance of continuous monitoring and control over the influence of geodynamic processes on natural resources and infrastructure engineering and technical objects in the process of their interaction is noted. It is shown that an effective option for local geoeological monitoring of these processes is the use of modern systems based on the use of geoelectric control methods, which are highly sensitive to changes in the electrical properties of the monitored objects. Along with the advantages of these methods, their disadvantages in controlling the amplitudes were noted, in particular, the complexity of solving monitoring problems in the presence of regular interference influences, changes in climatic factors and variations in the parameters of a specific measuring installation, in connection with which it is shown that the application of the method based on phase control is promising. higher sensitivity and noise immunity. A mathematical description of the phase-measuring method is given, structural diagrams and functional models are developed, which can be used for the practical implementation of measuring paths of systems for local geoeological monitoring of various geodynamic processes. The proposed approach was successfully experimentally tested in the process of studying a model of a phase-measuring measuring system for monitoring geodynamic karst processes in the coastal zone of Lake Svyato, Nizhny Novgorod region, which showed its high sensitivity to recording changes in phase images for extremely small geodynamic processes of natural and artificial origin.*

**Keywords:** *geoeological monitoring, geoelectricity, phasometric method, functional modeling, karst processes.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Kuzmin, YU.O. *Sovremennaya geodinamika i otsenka geodinamicheskogo riska pri nedropolzovanii / YU.O. Kuzmin. M.: AEN, 1999. – 220 s.*
2. Korolev, V.A. *Monitoring geologicheskoy sredy / V.A. Korolev. – M.: Izd-vo MGU, 1995.*
3. Boldyrev, G.G. *Geotekhnicheskii monitoring / G.G. Boldyrev, A.A. Zhivayev // Inzhenernyye izyskaniya. №8. – 2013. – S.40–45.*
4. Khmelevskoy, V.K. *Geofizicheskiye metody issledovaniy: ucheb. posobiye / V.K. Khmelevskoy. – Petropavlosk–Kamchatskiy: Izd-vo KGPU, 2004. – 232 s.*
5. Khmelevskoy, V.K. *Osnovy geofizicheskikh metodov: uchebnik dlya vuzov / V.K. Khmelevskoy, V.I. Kostitsyn. Perm. un-t. Perm, 2010. – 400 s.*
6. Khmelevskoy, V.K. *Elektrorazvedka. Spravochnik geofizika v dvukhknigakh. 2-ye izdaniye / V.K. Khmelevskoy, V.M. Bondarenko. – M.: Nedra, 1989.*
7. Dolgal, A.S. *Kompleksirovaniye geofizicheskikh metodov: ucheb. posobiye / A.S. Dolgal. Perm. gos. nats. issled. un-t. Perm, 2012. – 167 s.*
8. Nikitin, A.A. *Kompleksirovaniye geofizicheskikh metodov. Uchebnik dlya vuzov. – 2-ye izd. ispr. idop. / A.A., Nikitin, V.K. Khmelevskoy. – M.: VNIIGeosistem, 2012. – 346 s.*
9. Pozdnyakov, A.I. *Elektrofizicheskiye svoystva nekotorykh pochv / A.I. Pozdnyakov. Moskva–Baku «Adilogly», 2004. – 240 s.*
10. Dorofeev, N.V. *Method of phase control of an electrical installation during geodynamic monitoring / N.V. Dorofeev, A.V. Grecheneva, O.R. Kuzichkin, R.V. Romanov, D.I. Surzhik // 2nd International Conference on Functional Materials and Chemical Engineering 2018 (ICFMCE 2018). – 2019. – Book series: MATEC Web of Conferences. – Volume: 272.*
11. Baknin, M.D. *Compensation method for selecting trend geoelectric signals in the geodynamic monitoring system / M.D. Baknin, O.R. Kuzichkin, I.A. Kurilov, D.I. Surzhik // International Multiconference on Industrial Engineering and Modern Technologies 2019, FarEastCon 2019. – 2019. – 8934365.*
12. Vasiliev, G.S. *The practice of using a multi-pole electrical installation for monitoring the coastal zone of karst lakes / G.S. Vasiliev, O.R. Kuzichkin, R.V. Romanov, N.V. Dorofeev, A.V. Grecheneva // 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM 2018). – 2018. – Issue. 1.2. – Pp. 727–734.*
13. Vasiliev, G.S. *Results of modeling the phasometric method for controlling the development of suffusion processes / G.S. Vasiliev, O.R. Kuzichkin, M.D. Baknin, N.V. Dorofeev, A.V. Grecheneva // 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM 2018). – 2018. – Issue. 5.2. – Pp. 827–834.*
14. Kuzichkin, O.R. *Application of phasometric measuring systems for geodynamic control of karst processes / O.R. Kuzichkin, A.V. Grecheneva, E.S. Mikhaleva, N.V. Dorofeev, B.D. Maxim // Journal of Engineering and Applied Sciences –2017. – Volume 12, Special Issue 4. – Pp. 6858–6863.*
15. Kuzichkin, O.R. *Assessment of the probability of collapse of karst cavities at technogenic cyclic loads below the endurance limit / O.R. Kuzichkin, N.V. Dorofeev, A.V. Grecheneva, R.V. Romanov, D.I. Surzhik // 2nd International Conference on Functional Materials and Chemical Engineering 2018 (ICFMCE 2018). – 2019. – Book series: MATEC Web of Conferences. – Volume: 272. – №01007.*
16. Anikeyev, A.V. *Provaly i voronkiosedaniya v karstovykh rayonakh: mekhanizmy obrazovaniya, prognoz i otsenkariska / A.V. Anikeyev. Rossiyskaya akademiya nauk institut geologiiim. Ye.M. Sergeyeva (IGE RAN), 2017. – 328 s.*
17. Tolmachev, V.V. *Inzhenernoye karstovedeniye / V.V. Tolmachev, F. Royter. – M.: «Nedra», 1990. – 151 s.*
18. Chikishev, A.G. *Karst Russkoy ravniny / A.G. Chikishev. M.: «Nauka», 1978. – 196 s.*
19. Khomenko, V.P. *Protivokarstovaya i protivosuffuzionnaya zashchita v Rossii: istoriya i sovremennost / V.P. Khomenko // Vestnik MGSU. – 2011. – Tom 13, Vyp. 4(115). – S. 482–489.*

**Surzhik Dmitry Igorevich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of UKTS  
Murom Institute (branch) of the Federal State Budgetary Educational institutions of higher education «Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs», Murom.  
Tel. 8-919-007-48-66  
E-mail: arzerum@mail.ru

**Vasiliev Gleb Sergeevich**

Candidate of Science Engineering, Senior Researcher «NRU BelGU»  
Belgorod National Research University, Belgorod.  
Tel. 8-915-751-66-47  
E-mail: vasilievgleb@yandex.ru

**Pankina Ekaterina Sergeevna**

Deputy Director of the Department of Scientific Communication and Publishing "NRU BelGU"  
Belgorod National Research University, Belgorod.  
Tel. 8-910-369-16-64  
E-mail: pankina@bsu.edu.ru

**Kuzichkin Oleg Rudolfovich**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher «NRU BelGU»  
Belgorod National Research University, Belgorod.  
Tel. 8-910-171-39-45  
E-mail: Kuzlchkin@bsu.edu.ru

**Baknin Maxim Dmitrievich**

Postgraduate student, junior researcher «NRU BelGU»  
Belgorod National Research University, Belgorod.  
Tel. 8-920-923-19-02  
E-mail: m.baknin@yandex.ru

УДК 004.2

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-119-125

Е.С. ПАНЬКИНА, Н.В. ДОРОФЕЕВ

## АЛГОРИТМ КОРРЕКЦИИ МОДЕЛИ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

**Аннотация.** В статье рассматривается алгоритм получения индивидуальной модели геотехнической системы на основе ее базовой модели. Коррекция базовой модели осуществляется по результатам оценки информативности параметров геотехнической системы на основе нейросетевого подхода. В статье приводится описание существующих нейросетевых алгоритмов отбора информативных признаков. Предлагаемый нейросетевой алгоритм основан на результатах предварительной статистической обработки данных, сформированных параметрах модели объекта управления, и полученных параметрах бифуркации. По результатам работы предлагаемого алгоритма возможно определение ключевых точек размещения датчиков системы сбора, коррекция параметров сбора и индивидуальной модели геотехнической системы. В статье также приводится практическая апробация разработанного алгоритма при геотехническом мониторинге трехэтажного здания. Результаты проверки показывают повышение качества работы системы мониторинга за счет более раннего выявления деструктивных процессов.

**Ключевые слова:** мониторинг, нейросетевой алгоритм, индивидуальная модель, геотехническая система, объект строительства.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации № МД-1800.2020.8.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Namdar. Forecasting the bearing capacity of the mixed soil using artificial neural network [Text] / Namdar // Fratture ed Integrita Strutturale. – 2020. – Vol. 53. – P. 285–294;
2. Integration of a limit–equilibrium model into a landslide early warning system [Text] / B. Thiebes [and etc.] // Landslides. – 2014. – Vol. 11. – P. 859–875;
3. Hu, ZG., Shan, W. Analysis of the groundwater resource pollution of coal–fired power plants and its impact on geotechnical engineering properties by numerical simulation technology [Text] / ZG. Hu, W. Shan // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Sci. – 2020. – Vol. 450. – P. 1–11;
4. The work flow and operational model for geotechnical investigation based on BIM [Text] / J. Zhang [and etc.] // IEEE Access. – 2016. – Vol. 4. – P. 7500–7508;
5. Feng, S., Liu, J. Deformation monitoring and control of geotechnical engineering based on intelligent optimal algorithms [Text] / S. Feng, J. Liu // 11th Int. Conf. on Meas. Tech. and Mechatronics Automation, pp. 341–344, 2019.
6. Algorithm for predicting of the transition of a key point of geodynamic control to the risk zone [Text] / N.V. Dorofeev [and etc.] // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Sci. – 2020. – Vol. 548(5). – P. 1–5;

7. Reidmuller, G., Schubert, W. Tunnelling in fault zones – innovative approaches [Text] / G. Reidmuller, W. Schubert // Pacific Rocks 2000: Rock Around the Rim. – 2000. – P. 113–124;
8. Research and application of low density roof support technology of rapid excavation for coal roadway [Text] / HQ. Yang [and etc.] // Geotechnical and Geological Engineering. – 2020. – Vol. 38. – P. 389–401;
9. Zhang ZM. Achievements and problems of geotechnical engineering investigation in China [Text] / ZM. Zhang // J. of Zhejiang University–Sci A. – 2011. – Vol. 12. – P. 87–102;
10. The selection of parameters and control points in the geotechnical monitoring system [Text] / N.V. Dorofeev [and etc.] // IOP Conf. Series: Materials Sci. and Engin. – 2020. – Vol. 873(1). – P. 1–8;
11. Feng, S. Deformation monitoring and control of geotechnical engineering based on intelligent optimal algorithms [Text] / S. Feng, J. Liu // 11th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. – 2019. – P. 341–344;
12. Иванов, И.А. Многокритериальный подход к проектированию ансамбля нейросетевых классификаторов с отбором информативных признаков для решения задачи распознавания эмоций [Текст] / И.А. Иванов, Е.А. Сопов, И.А. Панфилов // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2015. – № 4/16. – С. 819–827;
13. Genetic algorithms as a method for variable selection in multiple linear regression and partial least squares regression, with applications to pyrolysis mass spectrometry [Text] / R. Broadhurst [and etc.] // Analytica Chimica Acta, August. – 1997. – Vol. 348. – P. 1–3;
14. Meiri, R. Using simulated annealing to optimize the feature selection problem in marketing applications [Text] / R. Meiri, J. Zahavi // European journal of operational research. – 2006. – Vol. 3/171;
15. Kapetanios, G. Variable selection using non–standard optimisation of information criteria [Text] / G. Kapetanios // Comp. Sci. and Engineering. – 2005. – P. 358–363;
16. Development of visual management system for intelligent monitoring information of foundation pit engineering based on BIM [Text] / J. Xuan [and etc.] // 5th Int. Conf. on Math. and Comp. in Sci. and Ind. – 2018. – P. 170–173;
17. A deep CNN–based ground vibration monitoring scheme for MEMS sensed data [Text] / J. Kang [and etc.] // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. – 2020. – Vol. 2/17. – P. 347–351.

**Панькина Екатерина Сергеевна**

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых»;  
Научный сотрудник;  
600000, г. Владимир, ул. Горького 87;  
Тел. (49234) 77–236;  
E–mail: pankina@bsu.edu.ru

**Дорофеев Николай Викторович**

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых»;  
Научный сотрудник;  
600000, г. Владимир, ул. Горького 87;  
Тел. (49234) 77–236;  
E–mail: dorofeev@yandex.ru

E.S. PANKINA, N.V. DOROFEEV

## ALGORITHM FOR CORRECTING THE GEOTECHNICAL SYSTEM MODEL

**Abstract.** *The article considers an algorithm for obtaining an individual model of a geotechnical system based on its basic model. The correction of the basic model is carried out based on the results of the evaluation of the informative value of the parameters of the geotechnical system based on the neural network approach. The article describes the existing neural network algorithms for selecting informative features. The proposed neural network algorithm is based on the results of preliminary statistical data processing, the generated parameters of the control object model, and the obtained bifurcation parameters. Based on the results of the proposed algorithm, it is possible to determine the key placement points of the sensors of the collection system, correct the parameters of the collection and the individual model of the geotechnical system. The article also provides a practical approbation of the developed algorithm for geotechnical monitoring of a three–story building. The results of the audit show an improvement in the quality of the monitoring system due to earlier detection of destructive processes.*

**Keywords:** *monitoring, neural network algorithm, individual model, geotechnical system, construction object/*

### BIBLIOGRAPHY

1. Namdar. Forecasting the bearing capacity of the mixed soil using artificial neural network [Text] / Namdar // Fratture ed Integrita Strutturale. – 2020. – Vol. 53. – P. 285–294;
2. Integration of a limit–equilibrium model into a landslide early warning system [Text] / B. Thiebes [and etc.] // Landslides. – 2014. – Vol. 11. – P. 859–875;
3. Hu, ZG., Shan, W. Analysis of the groundwater resource pollution of coal–fired power plants and its impact on geotechnical engineering properties by numerical simulation technology [Text] / ZG. Hu, W. Shan // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Sci. – 2020. – Vol. 450. – P. 1–11;
4. The work flow and operational model for geotechnical investigation based on BIM [Text] / J. Zhang [and etc.] // IEEE Access. – 2016. – Vol. 4. – P. 7500–7508;

5. Feng, S., Liu, J. Deformation monitoring and control of geotechnical engineering based on intelligent optimal algorithms [Text] / S. Feng, J. Liu // 11th Int. Conf. on Meas. Tech. and Mechatronics Automation, pp. 341–344, 2019.
6. Algorithm for predicting of the transition of a key point of geodynamic control to the risk zone [Text] / N.V. Dorofeev [and etc.] // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Sci. – 2020. – Vol. 548(5). – P. 1–5;
7. Reidmuller, G., Schubert, W. Tunnelling in fault zones – innovative approaches [Text] / G. Reidmuller, W. Schubert // Pacific Rocks 2000: Rock Around the Rim. – 2000. – P. 113–124;
8. Research and application of low density roof support technology of rapid excavation for coal roadway [Text] / HQ. Yang [and etc.] // Geotechnical and Geological Engineering. – 2020. – Vol. 38. – P. 389–401;
9. Zhang ZM. Achievements and problems of geotechnical engineering investigation in China [Text] / ZM. Zhang // J. of Zhejiang University–Sci A. – 2011. – Vol. 12. – P. 87–102;
10. The selection of parameters and control points in the geotechnical monitoring system [Text] / N.V. Dorofeev [and etc.] // IOP Conf. Series: Materials Sci. and Engin. – 2020. – Vol. 873(1). – P. 1–8;
11. Feng, S. Deformation monitoring and control of geotechnical engineering based on intelligent optimal algorithms [Text] / S. Feng, J. Liu // 11th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. – 2019. – P. 341–344;
12. Ivanov, I. A. Multicriteria approach to the design of an ensemble of neural network classifiers with the selection of informative features for solving the problem of emotion recognition [Text] / I. A. Ivanov, E. A. Sopov, I. A. Panfilov // Bulletin of the Siberian State Aerospace University. academician M. F. Reshetnev. – 2015. – No. 4/16. – pp. 819–827;
13. Genetic algorithms as a method for variable selection in multiple linear regression and partial least squares regression, with applications to pyrolysis mass spectrometry [Text] / R. Broadhurst [and etc.] // Analytica Chimica Acta, August. – 1997. – Vol. 348. – P. 1–3;
14. Meiri, R. Using simulated annealing to optimize the feature selection problem in marketing applications [Text] / R. Meiri, J. Zahavi // European journal of operational research. – 2006. – Vol. 3/171;
15. Kapetanios, G. Variable selection using non-standard optimisation of information criteria [Text] / G. Kapetanios // Comp. Sci. and Engineering. – 2005. – P. 358–363;
16. Development of visual management system for intelligent monitoring information of foundation pit engineering based on BIM [Text] / J. Xuan [and etc.] // 5th Int. Conf. on Math. and Comp. in Sci. and Ind. – 2018. – P. 170–173;
17. A deep CNN-based ground vibration monitoring scheme for MEMS sensed data [Text] / J. Kang [and etc.] // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. – 2020. – Vol. 2/17. – P. 347–351.

**Pankina Ekaterina Sergeevna**  
Vladimir State University;  
Research associate;  
87 Gorky str., Vladimir, 600000;  
Tel. (49234) 77–236;  
E-mail: pankina@bsu.edu.ru

**Dorofeev Nikolay Viktorovich**  
Vladimir State University;  
Associate professor, D.Sc., head of department;  
87 Gorky str., Vladimir, 600000;  
Tel. (49234) 77–236;  
E-mail: dorofeev@yandex.ru

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

УДК 62.529

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-126-131

Н.А. МАРКОВ

### **ИНФОРМАЦИОННО–ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА РЕЗЕРВНОГО ВРЕМЕНИ СОХРАНЕНИЯ СОЗНАНИЯ ПАССАЖИРАМИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В ВЫСОТНОМ ПОЛЕТЕ**

**Аннотация.** В статье рассмотрена информационно–измерительная система мониторинга резервного времени сохранения сознания пассажирами воздушных судов в высотном полете, основу которой составляет индикатор резервного времени сохранения сознания человеком в высотном полете, обеспечивающий расчет оценки резервного времени в реальном времени.

**Ключевые слова:** информационно–измерительная система, высотный полет, индикатор резервного времени, авиационное оборудование, безопасность высотного полета.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации (НШ–2553.2020.8).*

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Илюшин Ю.С. Системы обеспечения жизнедеятельности летчика. – М.: изд-во ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1989. – 167 с.
2. Дворников М.В., Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В., Матюшев Т.В. Технология синтеза законов управления человеко–машинными системами, эксплуатируемыми в условиях высокого риска гипоксических состояний человека // Двойные технологии. – 2014. – № 1 (66). – С. 8–11.
3. Шишов А.А., Богомолов А.В. Физиологическое обоснование адекватного выхода из аварийной ситуации в высотном полете // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2020. – Т. 54. – № 2. – С. 65–71.
4. Кукушкин Ю.А., Дворников М.В., Богомолов А.В., Матюшев Т.В., Поляков А.В. Математическое обеспечение рискметрии состояний человека в экстремальных и аварийных ситуациях, сопряженных с гипоксическим воздействием // Безопасность жизнедеятельности. – 2012. – № 10 (142). – С. 25–33.
5. Кукушкин Ю.А., Дворников М.В., Богомолов А.В., Шишов А.А., Сухолишко В.А., Симоненко А.П., Степанов В.К. Особенности поддержки принятия решений по устранению особых событий и опасных состояний летчика в высотном полете // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2009. – № 6. – С. 74–79.
6. Кукушкин Ю.А., Марков Н.А., Богомолов А.В., Дворников М.В., Шишов А.А. Облик автоматизированных информационных систем персонализированного оповещения пассажиров воздушных судов в чрезвычайных ситуациях высотного полета // Сибирский пожарно–спасательный вестник. – 2020. – № 4. – С. 44–50.
7. Марков Н.А., Богомолов А.В., Шишов А.А., Дворников М.В. Технология персонализированного информирования о потенциальной опасности чрезвычайной ситуации в высотном полете // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. – 2020. – Т. 7. – С. 76–79.
8. Марков Н.А., Филатов В.Н. Комплекс технических средств автоматизированного оповещения об опасностях чрезвычайных ситуаций высотных полетов // Проблемы безопасности полетов. 2020. – № 7. – С. 42–48.
9. Марков Н.А. Технологии персонализированного информирования пассажиров воздушных судов о потенциальной опасности чрезвычайной ситуации высотного полета // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2020. – Т. 9. – № 3 (51). – С. 138–142.

**Марков Николай Александрович**

АО «НПП «Топаз», г. Москва

Научный сотрудник

129626, Москва, 3–я Мытищинская ул., 16

Тел. +7(495)155–15–32

E–mail: gniiivm–m@yandex.ru

---

N.A. MARKOV

**INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM FOR MONITORING  
THE RESERVE TIME OF CONSCIOUSNESS PRESERVATION  
BY AIRCRAFT PASSENGERS IN HIGH–ALTITUDE FLIGHT**

**Abstract.** *The article considers the information and measurement system for monitoring the reserve time of consciousness retention by aircraft passengers in high–altitude flight, which is based on the indicator of the reserve time of consciousness retention by a person in high–altitude flight, which provides the calculation of the reserve time estimate in real time.*

**Keywords:** *information and measurement system, high–altitude flight, reserve time indicator, aviation equipment, high–altitude flight safety.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Ijushin Ju.S. Sistemy obespechenija zhiznedejatelnosti letchika. – Moscow: izd–vo VVIA im. prof. N.E. Zhukovskogo, 1989. – 167 s.
2. Dvornikov M.V., Kukushkin Ju.A., Bogomolov A.V., Matjushev T.V. Tehnologija sinteza zakonov upravlenija cheloveko–mashinnymi sistemami, jekspluatiruemymi v uslovijah vysokogo riska gipoksicheskikh sostojanij cheloveka // Dvojnye tehnologii. – 2014. – № 1 (66). – S. 8–11.
3. Shishov A.A., Bogomolov A.V. Fiziologicheskoe obosnovanie adekvatnogo vyhoda iz avarijnoj situacii v vysotnom polete // Aviakosmicheskaja i jekologicheskaja medicina. – 2020. – Т. 54. – № 2. – S. 65–71.
4. Kukushkin Ju.A., Dvornikov M.V., Bogomolov A.V., Matjushev T.V., Poljakov A.V. Matematicheskoe obespechenie riskometrii sostojanij cheloveka v jekstremalnyh i avarijnyh situacijah, soprjazhennyh s gipoksicheskim vozdejstviem // Bezopasnost zhiznedejatelnosti. – 2012. – № 10 (142). – S. 25–33.



5. Kukushkin Ju.A., Dvornikov M.V., Bogomolov A.V., Shishov A.A., Suholitko V.A., Simonenko A.P., Stepanov V.K. Osobennosti podderzhki prinjatija reshenij po ustranjeniju osobyh sobytij i opasnyh sostojanij letchika v vysotnom polete // Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij. – 2009. – № 6. – S. 74–79.

6. Kukushkin Ju.A., Markov N.A., Bogomolov A.V., Dvornikov M.V., Shishov A.A. Oblik avtomatizirovannyh informacionnyh sistem personificirovannogo opoveshhenija passazhirov vozдушnyh sudov v chrezvychajnyh situacijah vysotnogo poleta // Sibirskij požarno–spasatelnyj vestnik. – 2020. – № 4. – С. 44–50.

7. Markov N.A., Bogomolov A.V., Shishov A.A., Dvornikov M.V. Tehnologija personificirovannogo informirovanija o potencialnoj opasnosti chrezvychajnoj situacii v vysotnom poljote // Matematicheskie metody v tehnikе i tehnologijah – ММТТ. – 2020. – Т. 7. – S. 76–79.

8. Markov N.A., Filatov V.N. Kompleks tehničeskih sredstv avtomatizirovannogo opoveshhenija ob opasnostjah chrezvychajnyh situacij vysotnyh poletov // Problemy bezopasnosti poletov. 2020. – № 7. – S. 42–48.

9. Markov N.A. Tehnologii personificirovannogo informirovanija passazhirov vozдушnyh sudov o potencialnoj opasnosti chrezvychajnoj situacii vysotnogo poleta // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastojashhego pljus. – 2020. – Т. 9. – № 3 (51). – S. 138–142.

**Markov Nikolai Alexandrovich**

JSC «NPP «Topaz», Moscow

Researcher

129626, Moscow, 3rd Mytisčinskaya str., 16

Tel. +7 (495)155–15–32

E–mail: gniiivm–m@yandex.ru

УДК 550.8.08

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-132-140

Д.И. СУРЖИК, О.Р. КУЗИЧКИН, Г.С. ВАСИЛЬЕВ, М.Д. БАКНИН, Е.С. ПАНЬКИНА

**ОБНАРУЖЕНИЕ УТЕЧЕК НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ОБЪЕКТАХ  
АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ  
ФАЗОМЕТРИЧЕСКИХ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Аннотация.** В статье рассмотрен подход к обнаружению утечек нефтепродуктов на объектах агропромышленного комплекса по результатам обработки фазовых изображений геодинамических процессов при локальном геоэкологическом мониторинге. Показано, что современный агропромышленный комплекс представляет собой совокупность нескольких различных отраслей экономики, качество и безопасность продукции которых для потребителей во многом зависит от эффективности решения проблемы поддержания экологической безопасности используемых угодий, а также контроля их состояния, раннего обнаружения и предупреждения возможных загрязнений, к числу которых относятся аварийные утечки нефтепродуктов с площадных объектов их хранения и переработки. Для наблюдения и контроля за состоянием данных объектов предложено использовать геоэкологический мониторинг на основе фазометрического геоэлектрического метода контроля, обладающего повышенной чувствительностью и помехозащищенностью по сравнению с амплитудными методами. На его основе разработана структурная схема и функциональная модель двухканального обнаружителя геодинамических событий (с двумя решающими устройствами и трехальтернативной гипотезой для каждаго), эффективность функционирования которого подтверждена результатами экспериментальных исследований с использованием специально разработанной мониторинговой системы и макета–модели площадного объекта топливно–энергетического комплекса.

**Ключевые слова:** агропромышленный комплекс, геоэкологический мониторинг, утечки нефтепродуктов, геоэлектрика, фазометрический метод, обнаружители сигналов, корреляционный приемник.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19–38–90261 "Исследование и разработка системы контроля нефтешламовых проливов фазометрическим геоэлектрическим методом" и в рамках выполнения государственного задания FZWG –2020–0029 "Разработка теоретических основ построения информационно–аналитического обеспечения телекоммуникационных систем геоэкологического мониторинга природных ресурсов в сельском хозяйстве".*

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Минаков, И.А. Экономика отраслей АПК / И.А. Минаков, Н.И. Куликов, О.В. Соколов и др.– М.: КолосС, 2004. – 464 с.

2. Purdy, Philip G. Analyzing the Frontiers of the Future Global Food Market: A Global Market Through 2050 / Philip G. Purdy, Jason M. Beddow, Terrence M. Hurley, Timothy C. M. Beatty, Vernon, R. Aidman // Australian Journal of Agricultural and Resource Economics. – 2014. – Pp. 571–589.

3. Слащева, А.В. Источники загрязнения окружающей среды нефтепродуктами / А.В. Слащева // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 1997. – Вып.9. – С.54–59.

4. Ступин, Д.Ю. Загрязнение почв и новейшие технологии их восстановления. Учебное пособие/ Д.Ю. Ступин. – СПб.: Издательство «Лань», 2009. – 432 с.
5. Хаустов, А.П. Проблемы прогнозирования и оценок рисков загрязнения геологической среды нефтяными углеводородами / А.П. Хаустов // Экология и охрана труда. – 2014. – № 7/8. – С. 59–64.
6. Бачурин, Б.А. Проблемы диагностики и контроля нефтяных загрязнений, природных геосистем / Б.А. Бачурин, Т.А. Одинцова // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2005. – № 9–10. – С. 79–84.
7. Ахметова, Т.И. Проблемы аналитического контроля объектов окружающей среды в районе расположения нефтехимических производств / Т.И. Ахметова, Т.З. Мухутдинова, А.А. Мухутдинов // Экология и промышленность России. – 2001.
8. Королев, В.А. Мониторинг геологической среды / В.А. Королев. – М.: Изд-во МГУ, 1995.
9. Максимович, Н.Г. Методы борьбы с нефтяным загрязнением на закарстованных берегах водохранилищ / Н.Г. Максимович, О.Ю. Мещерякова // Экология урбанизированных территорий. – 2009. – № 4. – С. 55–58.
10. Тетельмин, В.В. Геоэкология углеводородов. Учебное пособие/ В.В. Тетельмин, В.А. Язев. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2009. – 304 с.
11. Решетов, И.К. Прогноз поступления растворенных нефтепродуктов в грунтовый водоносный горизонт с использованием величины инфильтрационного питания / И.К. Решетов, В.А. Петик. – 2003. – №4 – С.73–75.
12. Огняник, Н.С. Основы изучения загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами / Н.С. Огняник, Н.К. Парамонова, А.Л. Брикс. – М.: [А.П.Н.], 2006. – 278 с.
13. Хмелевской, В.К. Геофизические методы исследований. Учеб. пособие/ В.К. Хмелевской, Ю.И. Горбачев, А.В. Калинин, М.Г. Попов, Н.И. Селиверстов, В.А. Шевнин. – Петропавлоск–Камчатский: Изд-во КГПУ, 2004. – 232 с.
14. Хмелевской, В.К. Основы геофизических методов. Учебник для вузов/ В.К. Хмелевской, В.И. Костицын. – Перм. ун-т. Пермь, 2010. – 400 с.
15. Хмелевской, В.К. Электроразведка. Справочник геофизика в двух книгах. – 2-е издание / В.К. Хмелевской, В.М. Бондаренко. – М.: Недра, 1989.
16. Поздняков, А.И. Электрофизические свойства некоторых почв / А.И. Поздняков, Ч.Г. Гюлялыев. – Москва–Баку «Адилъоглы», 2004. – 240 с.
17. Dorofeev, N.V. Method of phase control of an electrical installation during geodynamic monitoring / N.V. Dorofeev, A.V. Grecheneva, O.R. Kuzichkin, R.V. Romanov, D.I. Surzhik // 2nd International Conference on Functional Materials and Chemical Engineering 2018 (ICFMCE 2018). – 2019. – Book series: MATEC Web of Conferences. – Volume: 272.
18. Baknin, M.D. Compensation method for selecting trend geoelectric signals in the geodynamic monitoring system / M.D. Baknin, O.R. Kuzichkin, I.A. Kurilov, D.I. Surzhik // International Multiconference on Industrial Engineering and Modern Technologies 2019, FarEastCon 2019. – 2019. – 8934365.
19. Vasiliev, G.S. The practice of using a multi-pole electrical installation for monitoring the coastal zone of karst lakes / G.S. Vasiliev, O.R. Kuzichkin, R.V. Romanov, N.V. Dorofeev, A.V. Grecheneva // 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM 2018). – 2018. – Issue. 1.2. – Pp. 727–734.
20. Vasiliev, G.S. Results of modeling the phasometric method for controlling the development of suffusion processes / G.S. Vasiliev, O.R. Kuzichkin, M.D. Baknin, N.V. Dorofeev, A.V. Grecheneva // 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM 2018). – 2018. – Issue. 5.2. – Pp. 827–834.
21. Kuzichkin, O.R. Application of phasometric measuring systems for geodynamic control of karst processes / O.R. Kuzichkin, A.V. Grecheneva, E.S. Mikhaleva, N.V. Dorofeev, B.D. Maxim // Journal of Engineering and Applied Sciences – 2017. – Volume 12, Special Issue 4. – Pp. 6858–6863.
22. Kuzichkin, O.R. Assessment of the probability of collapse of karst cavities at technogenic cyclic loads below the endurance limit / O.R. Kuzichkin, N.V. Dorofeev, A.V. Grecheneva, R.V. Romanov, D.I. Surzhik // 2nd International Conference on Functional Materials and Chemical Engineering 2018 (ICFMCE 2018). – 2019. – book series: MATEC Web of Conferences. – Volume: 272. – №01007.
23. Dorofeev, N.V. The forecasting of the development of suffusion processes in urban on the basis of the geoelectric modeling by the data of the phasometric system of the geodynamic control / N.V. Dorofeev, O.R. Kuzichkin, A.V. Grecheneva, M.D. Baknin // International Journal of Engineering and Technology (UAE). – 2018. – Vol.7. – Pp. 268–275.
24. Kuzichkin, O.R. Evaluation of the accuracy of the phase metric method of goniometric control in geotechnical monitoring / O.R. Kuzichkin, A.V. Grecheneva, N.V. Dorofeev, D.I. Surzhik, M.D. Baknin, E.S. Mikhaleva // IJOAB JOURNAL. – 2020. – Volume 11, Issue: 1. – Pp. 27–32.
25. Шахтарин, Б.И. Обнаружение сигналов / Б.И. Шахтарин. – М.: Горячая линия, 2015. – 464 с.
26. Акимов, П.С. Теория обнаружения сигналов / П.С. Акимов, П.А. Бакут, П.А. Богданович. – М.: Радио и связь, 1984. – 440 с.
27. Акимов, П.С. Обнаружение радиосигналов / П.С. Акимов, С.И. Захаров. – М.: Радио и связь, 1989. – 288 с.
28. Уидроу, Б. Адаптивная обработка сигналов / Б. Уидроу, С. Стириз. – М.: Радио и связь, 1989. – 440 с.
29. Гришин, Ю.П. Радиотехнические системы / Ю.П. Гришин, В.П. Ипатов, Ю.М. Казаринов. – М.: Высш. шк, 1990. – 496 с.
30. Хелстром, К. Статистическая теория обнаружения сигналов / К. Хелстром. – М.: Издательство иностранной литературы, 1963. – 434 с.

**Суржик Дмитрий Игоревич**

Кандидат технических наук, Доцент кафедры УКТС Муромский институт (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром.  
Тел.8-919-007-48-66  
E-mail: arzerum@mail.ru

**Васильев Глеб Сергеевич**

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник «НИУ БелГУ»  
Белгородский национальный исследовательский университет, г. Белгород.  
Тел.8-915-751-66-47  
E-mail: vasilievgleb@yandex.ru

**Панькина Екатерина Сергеевна**

Заместитель директора департамента научной коммуникации и издательской деятельности «НИУ БелГУ»  
Белгородский национальный исследовательский университет, г. Белгород.  
Тел.8-910-369-16-64  
E-mail: pankina@bsu.edu.ru

**Кузичкин Олег Рудольфович**

Доктор технических наук, Профессор, ведущий научный сотрудник «НИУ БелГУ»  
Белгородский национальный исследовательский университет, г. Белгород.  
Тел.8-910-171-39-45  
E-mail: Kuzlchkin@bsu.edu.ru

**Бакнин Максим Дмитриевич**

Аспирант, младший научный сотрудник «НИУ БелГУ»  
Белгородский национальный исследовательский университет, г. Белгород.  
Тел. 8-920-923-19-02  
E-mail: m.baknin@yandex.ru

---

D.I. SURZHİK, O.R. KUZICHKIN, G.S. VASILIEV, M.D. BAKNIN, E.S. PANKINA

**DETECTION OF OIL PRODUCT LEAKS AT THE OBJECTS OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX ON THE BASIS OF PHASOMETRIC GEOELECTRIC SYSTEMS**

**Abstract.** *The article discusses an approach to the detection of leaks of oil products at the facilities of the agro-industrial complex based on the results of processing phase images of geodynamic processes during local geoecological monitoring. It is shown that the modern agro-industrial complex is a combination of several different sectors of the economy, the quality and safety of products of which for consumers largely depends on the effectiveness of solving the problem of maintaining the ecological safety of the lands used, as well as monitoring their condition, early detection and prevention of possible pollution, including include emergency leaks of oil products from on-site storage and processing facilities. To monitor and control the state of these objects, it is proposed to use geoecological monitoring based on the phase-metric geoelectric control method, which has increased sensitivity and noise immunity compared to amplitude methods. On its basis, a structural diagram and functional model of a two-channel detector of geodynamic events (with two solvers and a three-alternative hypothesis for each) have been developed, the efficiency of which is confirmed by the results of experimental studies using a specially developed monitoring system and a mock-up model of an areal object of the fuel and energy complex.*

**Keywords:** *agro-industrial complex, geoecological monitoring, oil product leaks, geoelectrics, phase-metric method, signal detectors, correlation receiver.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Minakov, I.A. *Ekonomika otrasley APK / I.A. Minakov, N.I. Kulikov, O.V. Sokolov i dr. M.: KolosS, 2004. – 464 s.*
2. Purdy, Philip G. *Analyzing the Frontiers of the Future Global Food Market: A Global Market Through 2050 / Philip G. Purdy, Jason M. Beddow, Terrence M. Hurley, Timothy C. M. Beatty, Vernon, R. Aidman // Australian Journal of Agricultural and Resource Economics. – 2014. – Pp. 571–589.*
3. Slashcheva, A.V. *Istochniki zagryazneniya okruzhayushchey sredy nefteproduktami / A.V. Slashcheva // Problemy bezopasnosti pri chrezvychaynykh situatsiyakh. – 1997. – Vyp.9. – S. 54–59.*
4. Stupin, D.YU. *Zagryazneniyepochvinoveyshiyetekhnologiiikhvosstanovleniya.Uchebnoyeposobiye / D.YU. Stupin. – Spb.: Izdatelstvo «Lan», 2009. – 432 s.*
5. Khaustov, A.P. *Problemy prognozirovaniya i otsenok riskov zagryazneniya geologicheskoy sredy neftyanymi uglevodorodami / A.P. Khaustov // Ekologiya i okhrana truda. – 2014. – № 7/8. – S. 59–64.*

6. Bachurin, B.A. Problemy diagnostiki i kontrolya neftyanykh zagryazneniy, prirodnykh geosistem / B.A. Bachurin, T.A. Odintsova // *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*. – 2005. – № 9–10. – S. 79–84.
7. Akhmetova, T.I. Problemy analiticheskogo kontrolya ob'yektov okruzhayushchey sredy v rayone raspolozheniya neftekhimicheskikh proizvodstv / T.I. Akhmetova, T.Z. Mukhutdinova, A.A. Mukhutdinov // *Ekologiya i promyshlennost Rossii*, 2001.
8. Korolev, V.A. Monitoring geologicheskoy sredy / V.A. Korolev. – M.: Izd-vo MGU, 1995.
9. Maksimovich, N.G. Metody borby s neftyanykh zagryazneniyem na zakarstovannykh beregakh vodokhranilishch / N.G. Maksimovich, O.YU. Meshcheryakova // *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy*. – 2009. – № 4. – S. 55–58.
10. Tetelmin, V.V. Geoekologiya uglevodorodov. Uchebnoye posobiye / V.V. Tetelmin, V.A. YAzev. Dolgoprudnyy: Izdatelskiy Dom «Intelekt», 2009. – 304 s.
11. Reshetov, I.K. Prognoz postupleniya rastvorennykh nefteproduktov v gruntovyy vodonosnyy gorizont s ispolzovaniyem velichiny infiltratsionnogo pitaniya / I.K. Reshetov, V.A. Petik. – 2003. – №4 – S.73–75.
12. Ognyanik, N.S. Osnovy izucheniya zagryazneniya geologicheskoy sredy legkimine fteproduktami / N.S. Ognyanik, N.K. Paramonova, A.L. Briks.M: [A.P.N.], 2006. – 278 s.
13. Khmelevskoy, V.K. Geofizicheskiye metody issledovaniy. Ucheb. posobiye / V.K. Khmelevskoy, YU.I. Gorbachev, A.V. Kalinin, M.G. Popov, N.I. Seliverstov, V.A. Shevnin. – Petropavlosk–Kamchatskiy: Izd-vo KGPU, 2004. – 232 s.
14. Khmelevskoy, V.K. Osnovy geofizicheskikh metodov. Uchebnik dlya vuzov / V.K. Khmelevskoy, V.I. Kostitsyn. Perm. un-t. Perm, 2010. – 400 s.
15. Khmelevskoy, V.K. Elektrorazvedka. Spravochnik geofizika v dvukh knigakh. 2–ye izdaniye / V.K. Khmelevskoy, V.M. Bondarenko. – M.: Nedra, 1989.
16. Pozdnyakov, A.I. Elektrofizicheskiye svoystva nekotorykh pochv / A.I. Pozdnyakov, CH.G. Gyulalyev. – Moskva–Baku «Adilogly», 2004. – 240 s.
17. Dorofeev, N.V. Method of phase control of an electrical installation during geodynamic monitoring / N.V. Dorofeev, A.V. Grecheneva, O.R. Kuzichkin, R.V. Romanov, D.I. Surzhik // 2nd International Conference on Functional Materials and Chemical Engineering 2018 (ICFMCE 2018). – 2019. – Book series: MATEC Web of Conferences. – Volume: 272.
18. Baknin, M.D. Compensation method for selecting trend geoelectric signals in the geodynamic monitoring system / M.D. Baknin, O.R. Kuzichkin, I.A. Kurilov, D.I. Surzhik // International Multiconference on Industrial Engineering and Modern Technologies 2019, FarEastCon 2019. – 2019. – 8934365.
19. Vasiliev, G.S. The practice of using a multi-pole electrical installation for monitoring the coastal zone of karst lakes / G.S. Vasiliev, O.R. Kuzichkin, R.V. Romanov, N.V. Dorofeev, A.V. Grecheneva // 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM 2018). – 2018. –Issue. 1.2. – Pp. 727–734.
20. Vasiliev, G.S. Results of modeling the phasometric method for controlling the development of suffusion processes / G.S. Vasiliev, O.R. Kuzichkin, M.D. Baknin, N.V. Dorofeev, A.V. Grecheneva // 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM 2018). – 2018. –Issue. 5.2. –Pp. 827–834.
21. Kuzichkin, O.R. Application of phasometric measuring systems for geodynamic control of karst processes / O.R. Kuzichkin, A.V. Grecheneva, E.S. Mikhaleva, N.V. Dorofeev, B.D. Maxim // *Journal of Engineering and Applied Sciences* –2017. – Volume 12, Special Issue 4. – Pp. 6858–6863.
22. Kuzichkin, O.R. Assessment of the probability of collapse of karst cavities at technogenic cyclic loads below the endurance limit / O.R. Kuzichkin, N.V. Dorofeev, A.V. Grecheneva, R.V. Romanov, D.I. Surzhik // 2nd International Conference on Functional Materials and Chemical Engineering 2018 (ICFMCE 2018). – 2019. – Book series: MATEC Web of Conferences. –Volume: 272. – №01007.
23. Dorofeev, N.V. The forecasting of the development of suffusion processes in urban on the basis of the geoelectric modeling by the data of the phasometric system of the geodynamic control / N.V.Dorofeev, O.R.Kuzichkin, A.V.Grecheneva, M.D. Baknin // *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. – 2018. –Vol.7. – Pp. 268–275.
24. Kuzichkin, O.R. Evaluation of the accuracy of the phase metric method of goniometric control in geotechnical monitoring / O.R. Kuzichkin, A.V. Grecheneva, N.V. Dorofeev, D.I. Surzhik, M.D. Baknin, E.S. Mikhaleva // *IIOAB JOURNAL*. – 2020. – Volume 11, Issue: 1. – Pp. 27–32.
25. Shakhtarin, B.I. Obnaruzheniye signalov / B.I. Shakhtarin. – M.: Goryachaya liniya, 2015. – 464 s.
26. Akimov, P.S. Teoriya obnaruzheniya signalov / P.S. Akimov, P.A. Bakut, P.A. Bogdanovich. M.: Radio i svyaz, 1984. – 440 s.
27. Akimov, P.S. Obnaruzheniye radiosignalov / P.S. Akimov, S.I. Zakharov. – M.: Radio i svyaz, 1989. – 288 s.
28. Uidrou, B. Adaptivnaya obrabotka signalov / B. Uidrou, S. Stiriz. M.: Radio i svyaz, 1989. – 440 s.
29. Grishin, YU.P. Radiotekhnicheskiye sistemy / YU.P.Grishin, V.P. Ipatov, YU.M. Kazarinov. M.: Vyssh. shk, 1990. – 496 s.
30. Khelstrom, K. Statisticheskaya teoriya obnaruzheniya signalov / K. Khelstrom. M.: Izdatelstvo inostrannoy literatury, 1963. – 434 s.

**Surzhik Dmitry Igorevich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of

**Kuzichkin Oleg Rudolfovich**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading

the Department of UKTS  
Murom Institute (branch) of the Federal State Budgetary  
Educational institutions of higher education «Vladimir  
State University named after Alexander Grigorievich and  
Nikolai Grigorievich Stoletovs», Murom.  
Tel. 8-919-007-48-66  
E-mail: arzerum@mail.ru

Researcher «NRU BelGU»  
Belgorod National Research University, Belgorod.  
Tel. 8-910-171-39-45  
E-mail: Kuzlchkin@bsu.edu.ru

**Vasiliev Gleb Sergeevich**  
Candidate of Science Engineering, Senior Researcher  
«NRU BelGU»  
Belgorod National Research University, Belgorod.  
Tel. 8-915-751-66-47  
E-mail: vasilievgleb@yandex.ru

**Baknin Maxim Dmitrievich**  
Postgraduate student, junior researcher «NRU BelGU»  
Belgorod National Research University, Belgorod.  
Tel. 8-920-923-19-02  
E-mail: m.baknin@yandex.ru

**Pankina Ekaterina Sergeevna**  
Deputy Director of the Department of Scientific  
Communication and Publishing "NRU BelGU"  
Belgorod National Research University, Belgorod.  
Tel. 8-910-369-16-64  
E-mail: pankina@bsu.edu.ru

УДК 681.7.015.2+551.57+551.510.412+004.942 DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-141-150

Я.Н. ГУСЕНИЦА, О.А. ШИРЯМОВ, Д.С. БУРЫЙ

## АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ В ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН ПРИ АЭРОНАБЛЮДЕНИИ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ЭМПИРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

**Аннотация.** В статье представлен алгоритм моделирования спектрального коэффициента прозрачности атмосферы в инфракрасном диапазоне длин волн при аэронаблюдения наземных объектов на основе интерполяции эмпирических данных. Предлагаемый алгоритм отличается от существующих тем, что объединяет в себе аналитические выражения и эмпирически данные, которые могут быть использованы для интерполяции значения коэффициента поглощения инфракрасного излучения парами воды и углекислым газом. В работе приведены теоретические расчеты поглощения и рассеивания инфракрасного излучения атмосферой, на которых основан предлагаемый алгоритм. Представлены результаты апробации алгоритма в ходе летно-экспериментальной работы.

**Ключевые слова:** аэронаблюдение, инфракрасное излучение, прозрачность атмосферы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ширямов О.А. Шубин Д.А. Подход к расчету излучательных характеристик объектов инфраструктуры в дальнем инфракрасном диапазоне длин волн / Материалы XXXI Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред». – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2019. – 56–62 с.
2. Abitan H., Bohr H., Buchhave P. Correction to the Beer–Lambert–Bouguer law for optical absorption. – New-York: Applied Optics, 2018. – P. 28.
3. Криксуков Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники. – М.: Советское радио, 1978. – 400 с.
4. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. World Meteorological Organization, 2010. No. 8. – 712 p.
5. Апорович В.А, Минов А.И. Методика оценки пропускания инфракрасного излучения атмосферой при наблюдении воздушного объекта из космоса / Доклады БГУИР. – Минск: БГУИР, 2011. № 2(56). с. 109–114.
6. ГОСТ 4401–81. Атмосфера стандартная. Параметры. – М.: Издательство стандартов, 2004. – 180 с.
7. Михеев С.В. Основы инфракрасной техники. – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 127 с.
8. Муратов М.В., Панин С.Д. Распознавание объектов в инфракрасном диапазоне: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 88с.
9. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. – М.: Логос, 2004. – 444 с.
10. Швыдкий В.С., Ладыгичев М.Г. Очистка газов: справочное издание. – М.: Теплоэнергетик, 2002. С. 22. – 640 с.

11. Зуев В.Е., Комаров В.С. Статистические модели температуры и газовых компонент атмосферы. Том 1. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1986. – 264 с.
12. Kidder S.Q., Vonder Haar T.N. Satellite meteorology. An Introduction. New York: Academic Press, 1995. – 466 p.
13. Зуев В.Е., Комаров В.С. Оптика атмосферного аэрозоля. Том 4.– Ленинград: Гидрометеиздат, 1987.– 255 с.
14. Abreu L.W., Anderson G.P. The MODTRAN 2/3 Report and LOWTRAN 7 MODEL. – MA: Philips Laboratory, Geophysics Directorate, 1996. – 261 p.
15. ГОСТ Р 53613–2009. Воздействие природных внешних условий на технические изделия. Общая характеристика. Осадки и ветер. – М.: Стандартинформ, 2009. – 14 с.
16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021618020 Российская Федерация. Модель прозрачности атмосферы в инфракрасном диапазоне длин волн при аэробнаблюдении наземных объектов: № 2021616968: заявл. 11.05.2021: опубл. 21.05.2021 / Я.Н. Гусеница, О.А. Ширямов, К.В. Маринеску, Д.С. Бурый; заявитель Федеральное государственное автономное учреждение «Военный инновационный технополис «ЭРА»».

**Гусеница Ярослав Николаевич**  
Военный инновационный технополис «ЭРА», г. Анапа  
Кандидат технических наук, начальник научно–исследовательского отдела (экспертизы инновационных проектов и научно–исследовательской деятельности)  
353456, Краснодарский край, г. Анапа, Пионерский пр., 41  
Тел. +7(981)831–50–29  
Email: yaromir226@gmail.com

**Ширямов Олег Анатольевич**  
Военно–космическая академия имени А.Ф. Можайского, г. Санкт–Петербург  
Кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно–исследовательского отдела Военно–космической академии имени А.Ф. Можайского  
197198, г. Санкт–Петербург, ул. Ждановская, д. 13  
Тел. +8(999)217–56–19  
Email: shiryamov\_oa@mail.ru

**Бурый Дмитрий Сергеевич**  
Военный инновационный технополис «ЭРА», г. Анапа  
Начальник 13 лаборатории испытательной (гидрометеорологического (метеорологического) и геофизического обеспечения)  
353456, Краснодарский край, г. Анапа, Пионерский пр., 41  
Тел. +7(964) 889–16–85  
Email: dmitriy\_buryy@mail.ru

Ya.N. GUSENITSA, O.A. SHIRYAMOV, D.S. BURYI

## ALGORITHM FOR MODELING THE SPECTRAL TRANSPARENCY COEFFICIENT OF THE ATMOSPHERE IN THE INFRARED WAVELENGTH RANGE IN AERO OBSERVATION OF GROUND OBJECTS BASED ON INTERPOLATION OF EMPIRICAL DATA

**Abstract.** *The article presents an algorithm for modeling the spectral transparency of the atmosphere in the infrared wavelength range for aerial observation of ground objects based on the interpolation of empirical data. The proposed algorithm differs from the existing ones in that it combines analytical expressions and empirical data that can be used to interpolate the value of the absorption coefficient of infrared radiation by water vapor and carbon dioxide. The paper presents theoretical calculations of the absorption and scattering of infrared radiation by the atmosphere, on which the proposed algorithm is based. The results of testing the algorithm in the course of flight experimental work are presented.*

**Keywords:** *aerial observation, infrared radiation, atmospheric transparency*

### BIBLIOGRAPHY

1. Shiryamov O.A. D. A. Shubin Approach to the calculation of the radiation characteristics of infrastructure objects in the far infrared wavelength range / Materials of the XXXI All–Russian symposium "Radar study of natural environments". – SPb.: VKA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – 56–62 p.
2. Abitan H., Bohr H., Buchhave P. Correction to the Beer–Lambert–Bouguer law for optical absorption. – New–York: Applied Optics, 2018. – P. 28.
3. Kriksukov L. 3. Reference book on the basics of infrared technology. – М.: Soviet radio, 1978. – 400 p.
4. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. World Meteorological Organization, 2010. No. 8. – 712 p.
5. Aporovich V.A., Minov A.I. Methods for assessing the transmission of infrared radiation by the atmosphere when observing an air object from space / Reports of BSUIR. – Minsk: BSUIR, 2011. – No. 2 (56). – from. 109–114.
6. GOST 4401–81. The atmosphere is standard. Parameters. – М.: Publishing house of standards, 2004. – 180 p.
7. Mikheev S.V. Fundamentals of infrared technology. – SPb: ITMO University, 2017. – 127 p.
8. Muratov M.V., Panin S.D. Recognition of objects in the infrared range: Textbook. allowance. – М.: Publishing house of MSTU im. N.E. Bauman, 2008. – 88p.
9. Tarasov V.V., Yakushenkov Yu.G. Infrared systems of the "looking" type. – М.: Logos, 2004. – 444 p.

10. Shvydkiy V.S., Ladygichev M.G. Gas Cleaning: A Reference Book. 2002. P.22. – 640 p.
11. Zuev V.E., Komarov V.S. Statistical models of temperature and gaseous components of the atmosphere. Volume 1. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986. – 264 p.
12. Kidder S.Q., Vonder Haar T.N. Satellite meteorology. An Introduction. – New York: Academic Press, 1995. – 466 p.
13. Zuev V.E., Komarov V.S. Optics of atmospheric aerosol. Volume 4. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987. – 255 p.
14. Abreu L.W., Anderson G.P. The MODTRAN 2/3 Report and LOWTRAN 7 MODEL. – MA: Philips Laboratory, Geophysics Directorate, 1996. – 261 p.
15. GOST R 53613–2009. The impact of natural external conditions on technical products. General characteristics. Precipitation and wind. – M.: Standartinform, 2009. – 14 p.
16. Certificate of state registration of the computer program No. 2021618020 Russian Federation. Model of atmospheric transparency in the infrared wavelength range for aerial observation of ground objects: No. 2021616968: Appl. 05/11/2021: publ. 05/21/2021 / Ya.N. Caterpillar, O.A. Shiryamov, K.V. Marinescu, D.S. Brown; applicant Federal State Autonomous Institution "Military Innovative Technopolis" ERA ".

**Gusenica Yaroslav Nikolaevich**

Military innovation technopolis «ERA», Anapa  
Ph.D, Head of the research department (examination of innovative projects and research activities)  
353456, tr. Krasnodarsky kray, Anapa, Pionerskiy ave., 41  
Тел. +7(981)831–50–29  
Email: yaromir226@gmail.com

**Shiryamov Oleg Anatolievich**

Military–Space Academy named after A.F. Mozhaysky, Saint–Petersburg  
Ph.D, senior researcher of the Research department of the Military–Space Academy named after A.F. Mozhaysky  
197198, Saint–Petersburg, Zhdanovskaya str., 13  
Тел. +8(999)217–56–19  
Email: shiryamov\_oa@mail.ru

**Buryj Dmitriy Sergeevich**

Military innovation technopolis «ERA», Anapa  
Head of 13 testing laboratory (hydrometeorological (meteorological) and geophysical support)  
353456, tr. Krasnodarsky kray, Anapa, Pionerskiy ave., 41  
Тел. +7(964) 889–16–85  
Email: dmitriy\_buryy@mail.ru

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

УДК 621.81

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-151-156

А.В. НЕМЕНКО, М.М. НИКИТИН

**ДИАГНОСТИКА РАННЕЙ СТАДИИ УСТАЛОСТИ  
ВРАЩАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

***Аннотация.** Предложен метод ранней диагностики усталости, основанный на особенностях поля напряжений, выходящего на поверхность детали. Основой метода является представление поля напряжений в виде комплекснозначной функции координат и вычисление интеграла от него по внешнему контуру сечения детали, на котором эти напряжения можно физически измерить с помощью датчиков. В случае отсутствия в сечении трещин, этот интеграл равен нулю, при наличии внутри контура трещины, содержащей оба своих конца, интеграл скачкообразно принимает ненулевое значение вне зависимости от фактического размера трещины.*

***Ключевые слова:** начальная стадия разрушения, ранняя диагностика, усталость, касательные напряжения, трещинообразование, трещиностойкость.*

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. J.C. Pang, S.X. Li, Z.G. Wang, Z.F. Zhang, General relation between tensile strength and fatigue strength of metallic materials, Materials Science and Engineering: A, V. 564, 2013, p. 331–341.

2. Y. Yao, S.-T. E. Tung, B. Glisic Crack detection and characterization techniques—An overview. Structural Control Health Monitoring. V.21(12) 2014, p. 1387–1413.
3. F. A. Andrade, I. Esat, and M. N. M. Badi. A new approach to time–domain vibration condition monitoring: gear tooth fatigue crack detection and identification by the Kolmogorov–Smirnov test." Journal of Sound and vibration 240.5 (2001): 909–919.
4. N. Li, F. Wang, G. Song. New entropy–based vibro–acoustic modulation method for metal fatigue crack detection: An exploratory study. Measurement 150 (2020): #107075.
5. A. Mohan, S. Poobal, Crack detection using image processing: A critical review and analysis, Alexandria Engineering Journal, V. 57 (2), 2018, p. 787–798.
6. X. Kong, J. Li. Vision-based fatigue crack detection of steel structures using video feature tracking. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 33.9 (2018): 783–799.
7. Q. Shan, R. J. Dewhurst. Surface-breaking fatigue crack detection using laser ultrasound. Applied physics letters, V. 62(21) 1993: 2649–2651.
8. Piervincenzo Rizzo et al. An unsupervised learning algorithm for fatigue crack detection in waveguides Smart Mater. Struct. 18(2), 2009 #025016
9. Лаврентьев М.А. Методы теории функций комплексного переменного/М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат//М.: Наука, 1987. – 688 с.
10. Y. Zhang In Situ Fatigue Crack Detection using Piezoelectric Paint Sensor. Journal of Intelligent Material Systems and Structures. 2006;17(10):843–852.

**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  
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

## DETECTION OF FATIGUE CRACKS EARLY STAGE IN ROTATING MACHINE PARTS

**Abstract.** *A method for early diagnosis of fatigue based on the peculiarities of the stress field emerging on the surface of the part is proposed. The method is based on the representation of the stress field in the form of a complex-valued function of coordinates and the calculation of the integral from it along the outer contour of the section of the part, on which these stresses can be physically measured using sensors. If there are no cracks in the section, this integral is equal to zero, if there is a crack inside the contour containing both its ends, the integral abruptly takes on a non-zero value regardless of the actual size of the crack.*

**Keywords:** *initial stage of failure, early detection, fatigue, shear stresses, cracking, crack resistance.*

### BIBLIOGRAPHY

1. J.C. Pang, S.X. Li, Z.G. Wang, Z.F. Zhang, General relation between tensile strength and fatigue strength of metallic materials, Materials Science and Engineering: A, V. 564, 2013, p. 331–341.
2. Y. Yao, S.-T. E. Tung, B. Glisic Crack detection and characterization techniques—An overview. Structural Control Health Monitoring. V.21(12) 2014, p. 1387–1413.
3. F. A. Andrade, I. Esat, and M. N. M. Badi. A new approach to time–domain vibration condition monitoring: gear tooth fatigue crack detection and identification by the Kolmogorov–Smirnov test." Journal of Sound and vibration 240.5 (2001): 909–919.
4. N. Li, F. Wang, G. Song. New entropy–based vibro–acoustic modulation method for metal fatigue crack detection: An exploratory study. Measurement 150 (2020): #107075.
5. A. Mohan, S. Poobal, Crack detection using image processing: A critical review and analysis, Alexandria Engineering Journal, V. 57 (2), 2018, p. 787–798.
6. X. Kong, J. Li. Vision-based fatigue crack detection of steel structures using video feature tracking. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 33.9 (2018): 783–799.
7. Q. Shan, R. J. Dewhurst. Surface-breaking fatigue crack detection using laser ultrasound. Applied physics letters, V. 62(21) 1993: 2649–2651.
8. Piervincenzo Rizzo et al. An unsupervised learning algorithm for fatigue crack detection in waveguides Smart Mater. Struct. 18(2), 2009 #025016
9. Lavrentev M.A. Metody teorii funkcyj kompleksnogo peremennogo/M.A. Lavrentev, B.V. Shabat//M.: Nauka, 1987. – 688 s.
10. Y. Zhang In Situ Fatigue Crack Detection using Piezoelectric Paint Sensor. Journal of Intelligent Material Systems and Structures. 2006;17(10):843–852.



**Nemenko Alexandra Vasilevna**

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 Michael Mihailovich**

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

УДК 629.114.2.042.027.004

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-157-164

З.А. ГОДЖАЕВ, В.В. ШЕХОВЦОВ, М.В. ЛЯШЕНКО, А.И. ИСКАЛИЕВ, Ш.Я.Э. ЭНРИКЕС

## СНИЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ТРАНСМИССИИ ТЯГОВО–ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ЗА СЧЕТ ЭЛЕМЕНТА С УПРАВЛЯЕМЫМИ УПРУГО–ДИССИПАТИВНЫМИ СВОЙСТВАМИ

**Аннотация.** В статье описывается предложенное авторами техническое решение упругой муфты, предназначенной для снижения динамической нагруженности трансмиссии тягово–транспортного средства в широком диапазоне амплитуд и спектре частот действующих переменных нагрузок. В качестве упругого элемента в муфте использована змеевидная пружина с прогрессивной нелинейной упругой характеристикой. За счет ее упругих свойств обеспечивается снижение динамической нагруженности трансмиссии тягово–транспортного средства на режимах нагружения с высоким коэффициентом динамичности, когда нагрузка на участке трансмиссии существенно превышает номинальную расчетную. Кроме прогрессивной нелинейной упругой характеристики, муфта обладает диссипативными свойствами, которые также нелинейно возрастают при увеличении амплитуд переменных нагрузок, действующих на участке трансмиссии, на котором установлена муфта. При возрастании амплитуд переменных нагрузок автоматически увеличивается число задействованных пар трения элементов муфты и увеличивается общая поверхность трения. Таким образом, за счет конструкции муфты обеспечивается автоматическое управление ее упруго–диссипативными свойствами, адаптивно приспособляющееся к режиму нагружения и обеспечивающее за счет этого максимальное снижение динамической нагруженности трансмиссии.

**Ключевые слова.** Трансмиссия тягово–транспортного средства, крутильные колебания, снижение динамической нагруженности, упругая муфта, управление упругими и диссипативными свойствами

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование динамических процессов в силовой передаче гусеничной машины / Е.И. Тескер, В.В. Шеховцов, С.В. Зленко, Д.И. Кумсков // *Dynamika strojovych agregatov = Dynamics of Machine Aggregates: proc. of 4th Int. Conf. (September 21–23, 1998) / Slovak Univ. of Technology.– Gabčíkovo (Slovak Republic), 1998.– S. 151–154.*
2. Исследование резонансных режимов силовой передачи трактора ВТ–100 / В.В. Шеховцов, Вл.П. Шевчук, С.В. Зленко, И.А. Долгов, В.В. Косенко, А.О. Куликов // *Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – № 7. – С. 11–13.*
3. Распространение крутильных колебаний в валопроводе силовой передачи трактора ВТ–100 / В.В. Шеховцов, Вл.П. Шевчук, С.В. Зленко, И.А. Долгов, В.В. Косенко, А.О. Куликов // *Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – № 8. – С. 10–12.*
4. Шеховцов, В.В. Анализ и синтез динамических характеристик автотракторных силовых передач и средств для их испытания: монография / В.В. Шеховцов; ВолгГТУ. – Волгоград: РПК «Политехник», 2004. – 224 с.
5. Шеховцов, В.В. Совершенствование автотракторных силовых передач на основе анализа и синтеза их динамических характеристик на этапе проектирования: Дис.... д–ра техн. наук: 05.05.03. Волгоград, 2004. – 399 с.
6. The Computational Research of the Dynamic Load of the Power Train Sites of the Caterpillar Tractor = Расчётные исследования динамической нагруженности участков силовой передачи гусеничного трактора / В.В. Шеховцов, Н.С. Соколов–Добрев, Вл.П. Шевчук, М.В. Ляшенко, А.В. Калмыков // *The Archives of Automotive Engineering / Archiwum Motoryzacji. – 2013. – Vol. 60, No. 2. – С. парал.: 79–91 (англ.); 195–208 (рус.).*
7. Динамическая нагруженность силовых элементов трансмиссии гусеничного трактора при эксплуатации в режиме "разгон – остановка" / Е.И. Тескер, В.В. Шеховцов, В.Ю. Тараненко, К.П. Подшивалин // *Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 8. – С. 21–23.*
8. Исследование динамических процессов в силовой передаче гусеничного трактора тягового класса 6 при повороте / А.В. Калмыков, В.В. Шеховцов, Н.С. Соколов–Добрев, К.О. Долгов // *Прогресс транспортных*

- средств и систем – 2013: матер. междунар. науч.–практ. конф., Волгоград, 24–26 сент. 2013 г. / ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 2013. – С. 161–162.
9. Исследование динамической нагруженности участков силовой передачи трактора Четра 6С–315 / В.В. Шеховцов, Н.С. Соколов–Добрев, И.А. Иванов, А.В. Калмыков // Изв. ВолгГТУ. Серия "Наземные транспортные системы". Вып. 5: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – № 2. – С. 47–50.
10. Исследование характера изменения крутящего момента на ведущем колесе гусеничного трактора / В.В. Шеховцов, Н.С. Соколов–Добрев, И.А. Иванов, А.В. Калмыков // Изв. ВолгГТУ. Серия "Наземные транспортные системы". Вып. 4: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – № 12. – С. 60–63.
11. Тескер, Е.И. Динамическая нагруженность трансмиссии трактора / Е.И. Тескер, В.В. Шеховцов, М.Ф. Салолькин // Международная конференция по теории механизмов и механике машин, посвящ. 100–летию со дня рожд. акад. И.И. Артоболевского: сб. докл., 9–16 октября 2006 г. / Кубанский гос. технол. ун–т и др. – Краснодар, 2006. – С. 229–230.
12. Шеховцов, В.В. Оптимизация динамической нагруженности силовой передачи трактора ВТ–100 / В.В. Шеховцов, М.В. Ляшенко // Справочник. Инженерный журнал. – 2008. – № 7. – С. 28–33.
13. Исследование резонансных режимов силовой передачи трактора ВТ–100 / В.В. Шеховцов, Вл.П. Шевчук, С.В. Зленко, И.А. Долгов, В.В. Косенко, А.О. Куликов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – № 7. – С. 11–13.
14. Динамическая нагруженность силовой передачи гусеничной машины на переходных режимах / Е.И. Тескер, В.В. Шеховцов, С.В. Зленко, А.Е. Стульников // Dynamics of machine aggregates: Proceedings of the International conference, June 27–29, 2000 / Slovak university of technology. – Gabčíkovo, Slovak Republ., 2000. – С. 217–221.
15. Шеховцов, В.В. Нагруженность силовых передач тягово–транспортных средств / В.В. Шеховцов // Наземные транспортные системы: Межвуз. сб. науч. тр. / ВолгГТУ. – Волгоград, 1999. – С. 60–65.
16. Крутильные колебания от основных эксплуатационных нагрузок в валопроводе силовой передачи трактора ВТ–100 / В.В. Шеховцов, М.В. Ляшенко, Вл.П. Шевчук, Н.С. Соколов–Добрев, К.В. Шеховцов // Международный научно–исследовательский журнал. – 2013. – № 7 (ч. 2). – С. 125–128.
17. Исследование способности участков трансмиссии к передаче крутильных колебаний / В. Борковски, Э. Цыпко, Б. Михаловски, А.В. Победин, В.В. Шеховцов, Н.С. Соколов–Добрев // Doskonalenie konstrukcji oraz metod eksploatacji pojazdów mechanicznych. Pojazdy'2005: Zbiór referatów IX Międzynar. Sympozjum IPMiT, Rynia, 22–24 czerwca 2005 / Wojskowa Akad. Techn. [и др.]. – Warszawa–Rynia, 2005. – Т. 1. – С. 91–102.
18. Нагруженность участков трансмиссии от колебаний вследствие одновременного неравномерного действия основных эксплуатационных нагрузок / В. Борковски, Э. Цыпко, Б. Михаловски, А.В. Победин, В.В. Шеховцов, Н.С. Соколов–Добрев // Прогресс транспортных средств и систем – 2005: матер. междунар. науч.–практ. конф., (20–23 сент. 2005 г.) / ВолгГТУ и др. – Волгоград, 2005. – Ч.1. – С. 265–266.
19. Влияние динамической связанности звеньев силовой цепи на характер распространения крутильных колебаний в валопроводе / В.В. Шеховцов, М.В. Ляшенко, Вл.П. Шевчук, Н.С. Соколов–Добрев, К.В. Шеховцов // Международный научно–исследовательский журнал. – 2013. – № 7 (ч. 2). – С. 128–131.
20. Соколов–Добрев, Н.С. Исследование нагруженности участков трансмиссии трактора ВТ–100 от несинфазной работы ведущих колес при возникновении резонансных колебаний / Н.С. Соколов–Добрев, В.В. Шеховцов, А.В. Победин // Doskonalenie konstrukcji oraz metod eksploatacji pojazdów mechanicznych = Совершенств. констр. и методов эксплуатации мех. трансп. средств: сб. ст. VIII междунар. симпоз., (11–13 дек. 2002) / Воен.–техн. акад. [и др.]. – Warszawa–Rynia (Польша), 2002. – Cz. I. – С. 343–349.
21. Исследование прохождения крутильных колебаний по валопроводу силовой передачи трактора ВТ–100 / В.В. Шеховцов, Вл.П. Шевчук, С.В. Зленко, И.А. Долгов, В.В. Косенко, А.О. Куликов // Прогресс транспортных средств и систем – 2002: Матер. междунар. науч.–практич. конф., Волгоград, 8–11 октября 2002 г. / ВолгГТУ и др. – Волгоград, 2002. – Часть 2. – С. 66–68.
22. Распространение крутильных колебаний в валопроводе силовой передачи трактора ВТ–100 / В.В. Шеховцов, Вл.П. Шевчук, С.В. Зленко, И.А. Долгов, В.В. Косенко, А.О. Куликов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – № 8. – С. 10–12.
23. Шеховцов, В.В. Некоторые особенности проведения крутильных колебаний валопроводом силовой передачи транспортного средства / В.В. Шеховцов // Наземные транспортные системы: Межвуз. сб. науч. тр. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2000. – С. 23–26.
24. Динамическая модель силовой передачи гусеничного сельскохозяйственного трактора тягового класса 6 / Н.С. Соколов–Добрев, В.В. Шеховцов, И.А. Иванов, М.В. Ляшенко // Изв. ВолгГТУ. Серия "Наземные транспортные системы". Вып. 3: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – № 10. – С. 92–96.
25. Шеховцов, В.В. Optymalizacja dynamicznego obciążenia układu napędowego ciągnika WT–100 / В.В. Шеховцов, М.В. Ляшенко // Czasopismo Techniczne. Mechanika (Польша). – 2004. – № 7. – С. 589–595. – Пол.
26. Могилевская, Е.А. Установка упругой муфты в трансмиссию сельскохозяйственного трактора класса 6 / Е.А. Могилевская, В.В. Шеховцов // Проектирование колёсных машин: матер. всерос. науч.–техн. конф., посвящ. 100–летию начала подгот. инж. по автомобильной специальности в МГТУ им. Н.Э. Баумана (25–26 дек. 2009 г.) / ГОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". – М., 2010. – С. 167.
27. Храмова, Е.А. Разработка упругой муфты для трансмиссии трактора класса 6 / Е.А. Храмова, В.В. Шеховцов // Городу Камышину – творческую молодёжь (посвящается 15–летию Камышинского технол. ин–та

(филиала) ВолгГТУ): матер. III регион. н.–практ. студ. конф., 22–23 апр. 2009 г. / ВолгГТУ, КТИ (филиал) ВолгГТУ. – Камышин, 2009. – Т. 1. – С. 230–231.

28. Установка упругой муфты в трансмиссию сельскохозяйственного трактора класса 6 / Е.А. Храмова, И.А. Иванов, Н.С. Соколов–Добрев, В.В. Шеховцов // Прогресс транспортных средств и систем – 2009: матер. междунар. н.–пр. конф., Волгоград, 13–15 окт. 2009 г.: в 2 ч. Ч. 1 / ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 2009. – С. 231.

29. Камышникова, Т.Ф. Снижение динамической нагруженности трансмиссии трактора за счет установки торсионной пружины / Т.Ф. Камышникова, В.В. Шеховцов // IX Региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области, Волгоград, 9–12 ноября 2004 г.: тез. докл. / ВолгГТУ и др. – Волгоград, 2005. – С. 99–100.

30. Расчетное исследование влияния демпфирования на динамическую нагруженность участков трансмиссии трактора / В. Борковски, Э. Цыпко, Б. Михаловски, А.В. Победин, В.В. Шеховцов, Н.С. Соколов–Добрев // Прогресс транспортных средств и систем – 2005: матер. междунар. науч.–практ. конф., (20–23 сент. 2005 г.) / ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 2005. – Ч. 1. – С. 263–264.

31. Шеховцов, В.В. Dynamic load control for elements of load-carrying transmission by the change of damping / В.В. Шеховцов // ARCHIWUM MOTORYZACJI (Польша). – 1999. – N 4. – С. 233–243. – Англ.

32. Метод выбора параметров и мест установки в силовую передачу демпферов крутильных колебаний / В.В. Шеховцов, М.В. Ляшенко, Вл.П. Шевчук, Н.С. Соколов–Добрев, К.В. Шеховцов // Международный научно–исследовательский журнал. – 2013. – № 7 (ч. 2). – С. 115–118.

33. Шеховцов, В.В. Влияние демпфирования на нагруженность участков силовой передачи трактора Т–5 «Дончак» на резонансных режимах / В.В. Шеховцов // Справочник. Инженерный журнал. – 2003. – № 7. – С. 26–31.

34. П. м. 201977 РФ, МПК F16D 3/52, F16D 3/20, F16D 3/21, F16D 3/27. Упругая муфта / Э.Ш.Э. Энрикес, В.В. Шеховцов, Н.С. Соколов–Добрев, А.И. Искалиев – № 2020126917; заявл. 12.08.20; опубл. 25.01.21, Бюл. № 3.

### **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  
«Транспортные машины и  
двигатели» 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  
«Транспортные машины и  
двигатели» Волгоградского  
государственного технического  
университета,  
400005, РФ, г. Волгоград, пр–т  
Ленина, 28,  
тел. (8442) 24–81–62,  
tslmv@vstu.ru

### **Искалиев Азамат Ибрагимович**

аспирант кафедры «Транспортные  
машины и двигатели»  
Волгоградского государственного  
технического университета,  
400005, РФ, г. Волгоград, пр–т  
Ленина, 28,  
тел. (8442) 24–81–62,  
ts@vstu.ru

### **Энрикес Шиян Ярослав Эдгарович**

студент Волгоградского государственного технического университета,  
400005, РФ, г. Волгоград, пр–т Ленина, 28,  
тел. (8442) 24–81–62,  
ts@vstu.ru

---

Z.A. GODZHAEV, V.V. SHEKHOVTSOV, M.V. LIASHENKO,  
A.I. ISKALIEV, S.J.E. ENRIQUEZ

## **REDUCING OF DYNAMICAL LOAD IN VEHICLE TRANSMISSION BY THE PART WITH CONTROLLED ELASTIC–DAMPING CHARACTERISTICS**

**Abstract.** *This paper describes the technical solution of the elastic coupling proposed by authors. This coupling is designed to reduce dynamic load in a vehicle transmission into wide amplitudes range and specter of variable loads. The coupling uses the serpentine spring with progressive nonlinear elastic characteristic as the elastic element. The elastic characteristic provides reducing of dynamic load in transmission of a vehicle at loading regimes with high dynamic factor. Acting load at transmission parts sufficiently exceeds a nominal calculated load at these regimes. Besides progressive nonlinear characteristic the coupling has damping features which also increase nonlinearly at increasing of variable loads amplitudes in the transmission part where the coupling is installed. Increasing of amplitudes of variable*

loads leads to automatic increasing of number of used friction pairs in the coupling and total friction area. Thus the coupling structure provides the automatic control of its elastic–damping characteristics which adaptively changes in accordance with load regimes. This feature provides maximal reducing of transmission dynamic load.

**Keywords:** vehicle transmission, torsional vibrations, dynamic loading reduction, elastic coupling, control of elastic and damping characteristics.

## BIBLIOGRAPHY

1. Issledovanie dinamicheskikh processov v silovoj peredache gusenichnoj mashiny / E.I. Tesker, V.V. SHEkhovcov, S.V. Zlenko, D.I. Kumskov // *Dynamika strojovykh agregatov = Dynamics of Machine Aggregates: proc. of 4th Int. Conf. (September 21–23, 1998) / Slovak Univ. of Technology.– Gabcikovo (Slovak Republic), 1998.– S. 151–154.*
2. Issledovanie rezonansnykh rezhimov silovoj peredachi traktora VT–100 / V.V. SHEkhovcov, VI.P. SHEvchuk, S.V. Zlenko, I.A. Dolgov, V.V. Kosenko, A.O. Kulikov // *Traktory i selskohozyajstvennyye mashiny. – 2002. – № 7. – C. 11–13.*
3. Rasprostranenie krutilnykh kolebanij v valoprovode silovoj peredachi traktora VT–100 / V.V. SHEkhovcov, VI.P. SHEvchuk, S.V. Zlenko, I.A. Dolgov, V.V. Kosenko, A.O. Kulikov // *Traktory i selskohozyajstvennyye mashiny. – 2002. – № 8. – C. 10–12.*
4. SHEkhovcov, V.V. Analiz i sintez dinamicheskikh harakteristik avtotraktornykh silovykh peredach i sredstv dlya ih ispytaniya: monografiya / V.V. SHEkhovcov; VolgGTU. – Volgograd: RPK «Politehnik», 2004. – 224 s.
5. SHEkhovcov, V.V. Sovershenstvovanie avtotraktornykh silovykh peredach na osnove analiza i sinteza ih dinamicheskikh harakteristik na etape proektirovaniya: Dis.... d–ra tekhn. nauk: 05.05.03. Volgograd, 2004. – 399 c.
6. The Computational Research of the Dynamic Load of the Power Train Sites of the Caterpillar Tractor = Raschytotnye issledovaniya dinamicheskoy nagruzhennosti uchastkov silovoj peredachi gusenichnogo traktora / V.V. SHEkhovcov, N.S. Sokolov–Dobrev, VI.P. SHEvchuk, M.V. Lyashenko, A.V. Kalmykov // *The Archives of Automotive Engineering / Archiwum Motoryzacji. – 2013. – Vol. 60, No. 2. – C. paral.: 79–91 (angl.); 195–208 (rus.).*
7. Dinamicheskaya nagruzhennost silovykh elementov transmissii gusenichnogo traktora pri ekspluatatsii v rezhime "razgon – ostanovka" / E.I. Tesker, V.V. SHEkhovcov, V.YU. Taranenko, K.P. Podshivalin // *Trakto–ry i selhozmashiny. – 2013. – № 8. – C. 21–23.*
8. Issledovanie dinamicheskikh processov v silovoj peredache gusenichnogo traktora tyagovogo klassa 6 pri povorote / A.V. Kalmykov, V.V. SHEkhovcov, N.S. Sokolov–Dobrev, K.O. Dolgov // *Progress transportnykh sredstv i sistem – 2013: mater. mezhdunar. nauch.–prakt. konf., Volgograd, 24–26 sent. 2013 g. / VolgGTU [i dr.]. – Volgograd, 2013. – C. 161–162.*
9. Issledovanie dinamicheskoy nagruzhennosti uchastkov silovoj peredachi traktora CHetra 6S–315 / V.V. SHEkhovcov, N.S. Sokolov–Dobrev, I.A. Ivanov, A.V. Kalmykov // *Izv. VolgGTU. Seriya "Nazemnyye transportnye sistemy". Vyp. 5: mezhvuz. sb. nauch. st. / VolgGTU. – Volgograd, 2012. – № 2. – C. 47–50.*
10. Issledovanie haraktera izmeneniya krutyashchego momenta na vedushchem kolese gusenichnogo traktora / V.V. SHEkhovcov, N.S. Sokolov–Dobrev, I.A. Ivanov, A.V. Kalmykov // *Izv. VolgGTU. Seriya "Nazemnyye transportnye sistemy". Vyp. 4: mezhvuz. sb. nauch. st. / VolgGTU. – Volgograd, 2011. – № 12. – C. 60–63.*
11. Tesker, E.I. Dinamicheskaya nagruzhennost transmissii traktora / E.I. Tesker, V.V. SHEkhovcov, M.F. Salolykin // *Mezhdunarodnaya konferenciya po teorii mekhanizmov i mekhanike mashin, posvyashch. 100–letiyu so dnya rozhd. akad. I.I. Artobolevskogo: sb. dokl., 9–16 oktyabrya 2006 g. / Kubanskij gos. tekhnol. un–t i dr. – Krasnodar, 2006. – C. 229–230.*
12. SHEkhovcov, V.V. Optimizatsiya dinamicheskoy nagruzhennosti silovoj peredachi traktora VT–100 / V.V. SHEkhovcov, M.V. Lyashenko // *Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal. – 2008. – № 7. – C. 28–33.*
13. Issledovanie rezonansnykh rezhimov silovoj peredachi traktora VT–100 / V.V. SHEkhovcov, VI.P. SHEvchuk, S.V. Zlenko, I.A. Dolgov, V.V. Kosenko, A.O. Kulikov // *Traktory i selskohozyajstvennyye mashiny. – 2002. – № 7. – C. 11–13.*
14. Dinamicheskaya nagruzhennost silovoj peredachi gusenichnoj mashiny na perekhodnykh rezhimah / E.I. Tesker, V.V. SHEkhovcov, S.V. Zlenko, A.E. Stulnikov // *Dynamics of machine aggregates: Proceedings of the International conference, june 27–29, 2000 / Slovak university of technology. – Gabcikovo, Slovak Republ., 2000. – C. 217–221.*
15. SHEkhovcov, V.V. Nagruzhennost silovykh peredach tyagovo–transportnykh sredstv / V.V. SHEkhovcov // *Nazemnyye transportnye sistemy: Mezhvuz. sb. nauch. tr. / VolgGTU. – Volgograd, 1999. – C. 60–65.*
16. Krutilnye kolebaniya ot osnovnykh ekspluatatsionnykh nagruzok v valoprovode silovoj peredachi traktora VT–100 / V.V. SHEkhovcov, M.V. Lyashenko, VI.P. SHEvchuk, N.S. Sokolov–Dobrev, K.V. SHEkhovcov // *Mezhdunarodnyj nauchno–issledovatel'skij zhurnal. – 2013. – № 7 (ch. 2). – C. 125–128.*
17. Issledovanie sposobnosti uchastkov transmissii k peredache krutilnykh kolebanij / V. Borkovski, E. Cypko, B. Mihalovski, A.V. Pobedin, V.V. SHEkhovcov, N.S. Sokolov–Dobrev // *Doskonalenie konstrukcii oraz metod eksploatatsii pojazdov mekhanicznych. Pojazdy 2005: Zbiór referatów IX Międzynar. Sympozjum IPMiT, Rynia, 22–24 czerwca 2005 / Wojskowa Akad. Techn. [i dr.]. – Warszawa–Rynia, 2005. – T. 1.– C. 91–102.*
18. Nagruzhennost uchastkov transmissii ot kolebanij vsledstvie odnoremennogo neravnomernogo dejstviya osnovnykh ekspluatatsionnykh nagruzok / V. Borkovski, E. Cypko, B. Mihalovski, A.V. Pobedin, V.V. SHEkhovcov, N.S.

Sokolov–Dobrev // Progress transportnyh sredstv i sistem – 2005: mater. mezhdunar. nauch.–prakt. konf., (20–23 sent. 2005 g.) / VolgGTU i dr. – Volgograd, 2005. – CH.1. – C. 265–266.

19. Vliyanie dinamicheskoy svyazannosti zvenev silovoj cepi na harakter rasprostraneniya krutilnyh kolebanij v valoprovode / V.V. SHEkhovcov, M.V. Lyashenko, VI.P. SHEvchuk, N.S. Sokolov–Dobrev, K.V. SHEkhovcov // Mezhdunarodnyj nauchno–issledovatel'skij zhurnal. – 2013. – № 7 (ch. 2). – C. 128–131.

20. Sokolov–Dobrev, N.S. Issledovanie nagruzhennosti uchastkov transmissii traktora VT–100 ot nesinfaznoj raboty vedushchih koles pri vozniknovenii rezonansnyh kolebanij / N.S. Sokolov–Dobrev, V.V. SHEkhovcov, A.V. Pobedin // Doskonalenie konstrukcii oraz metod eksploatacii pojazdów mechanicznych = Sovershenstv. konstr. i metodov eksploatacii mekh. transp. sredstv: sb. st. VIII mezhdunar. simpoz., (11–13 dek. 2002) / Voen.–tekh. akad. [i dr.]. – Warszawa–Rynia (Polsha), 2002. – Cz. I. – C. 343–349.

21. Issledovanie prohozhdeniya krutilnyh kolebanij po valoprovodu silovoj peredachi traktora VT–100 / V.V. SHEkhovcov, VI.P. SHEvchuk, S.V. Zlenko, I.A. Dolgov, V.V. Kosenko, A.O. Kulikov // Progress transportnyh sredstv i sistem – 2002: Mater. mezhdunar. nauch.–praktich. konf., Volgograd, 8–11 oktyabrya 2002 g. / VolgGTU i dr. – Volgograd, 2002. – CHast 2. – C. 66–68.

22. Rasprostranenie krutilnyh kolebanij v valoprovode silovoj peredachi traktora VT–100 / V.V. SHEkhovcov, VI.P. SHEvchuk, S.V. Zlenko, I.A. Dolgov, V.V. Kosenko, A.O. Kulikov // Traktory i selskohozyajstvennyye mashiny. – 2002. – № 8. – C. 10–12.

23. SHEkhovcov, V.V. Nekotorye osobennosti provedeniya krutilnyh kolebanij valoprovodom silovoj peredachi transportnogo sredstva / V.V. SHEkhovcov // Nazemnyye transportnyye sistemy: Mezhvuz. sb. nauch. tr. / VolgGTU. – Volgograd, 2000. – C. 23–26.

24. Dinamicheskaya model silovoj peredachi gusenichnogo selskohozyajstvennogo traktora tyagovogo klassa 6 / N.S. Sokolov–Dobrev, V.V. SHEkhovcov, I.A. Ivanov, M.V. Lyashenko // Izv. VolgGTU. Seriya "Nazemnyye transportnyye sistemy". Vyp. 3: mezhvuz. sb. nauch. st. / VolgGTU. – Volgograd, 2010. – № 10. – C. 92–96.

25. SHEkhovcov, V.V. Optymalizatsiya dynamicznogo obciagzheniya układu napędowego ciągnika WT–100 / V.V. SHEkhovcov, M.V. Lyashenko // Czasopismo Techniczne. Mechanika (Polsha). – 2004. – № 7. – C. 589–595.– Pol.

26. Mogilevskaya, E.A. Ustanovka uprugoy mufty v transmissiyu selskohozyajstvennogo traktora klassa 6 / E.A. Mogilevskaya, V.V. SHEkhovcov // Proektirovanie kolyosnyh mashin: mater. vseros. nauch.–tekh. konf., posvyashch. 100–letiyu nachala podgot. inzh. po avtomobilnoj specialnosti v MGTU im. N.E. Baumana (25–26 dek. 2009 g.) / GOU VPO "MGTU im. N.E. Baumana". – M., 2010. – C. 167.

27. Hramova, E.A. Razrabotka uprugoy mufty dlya transmissii traktora klassa 6 / E.A. Hramova, V.V. SHEkhovcov // Gorodu Kamyshinu – tvorcheskuyu molodyozh (posvyashchaetsya 15–letiyu Kamyshinskogo tekh. in–ta (filiala) VolgGTU): mater. III region. n.–prakt. stud. konf., 22–23 apr. 2009 g. / VolgGTU, KTI (filial) VolgGTU. – Kamyshin, 2009. – T. 1. – C. 230–231.

28. Ustanovka uprugoy mufty v transmissiyu selskohozyajstvennogo traktora klassa 6 / E.A. Hramova, I.A. Ivanov, N.S. Sokolov–Dobrev, V.V. SHEkhovcov // Progress transportnyh sredstv i sistem – 2009: mater. mezhdunar. n.–pr. konf., Volgograd, 13–15 okt. 2009 g.: v 2 ch. CH. 1 / VolgGTU [i dr.]. – Volgograd, 2009. – C. 231.

29. Kamyshnikova, T.F. Snizhenie dinamicheskoy nagruzhennosti transmissii traktora za schet ustanovki torsionnoj pruzhiny / T.F. Kamyshnikova, V.V. SHEkhovcov // IX Regionalnaya konferenciya molodyh issledovatelej Volgogradskoj oblasti, Volgograd, 9–12 noyabrya 2004 g.: tez. dokl. / VolgGTU i dr. – Volgograd, 2005. – C. 99–100.

30. Raschetnoe issledovanie vliyaniya dempfirovaniya na dinamicheskuyu nagruzhennost uchastkov transmissii traktora / V. Borkovski, E. Cypko, B. Mihalovski, A.V. Pobedin, V.V. SHEkhovcov, N.S. Sokolov–Dobrev // Progress transportnyh sredstv i sistem – 2005: mater. mezhdunar. nauch.–prakt. konf., (20–23 sent. 2005 g.) / VolgGTU [i dr.]. – Volgograd, 2005. – CH. 1. – C. 263–264.

31. SHEkhovcov, V.V. Dynamic load control for elements of load–carrying transmission by the change of damping / V.V. SHEkhovcov // ARCHIWUM MOTORYZACJI (Polsha). – 1999. – N 4. – C. 233–243. – Angl.

32. Metod vybora parametrov i mest ustanovki v silovuyu peredachu dempferov krutilnyh kolebanij / V.V. SHEkhovcov, M.V. Lyashenko, VI.P. SHEvchuk, N.S. Sokolov–Dobrev, K.V. SHEkhovcov // Mezhdunarodnyj nauchno–issledovatel'skij zhurnal. – 2013. – № 7 (ch. 2). – C. 115–118.

33. SHEkhovcov, V.V. Vliyanie dempfirovaniya na nagruzhennost uchastkov silovoj peredachi traktora T–5 «Donchak» na rezonansnyh rezhimakh / V.V. SHEkhovcov // Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal. – 2003. – № 7. – C. 26–31.

34. P. m. 201977 RF, MPK F16D 3/52, F16D 3/20, F16D 3/21, F16D 3/27. Uprugaya mufta / E.S.H.E. Enri–kes, V.V. SHEkhovcov, N.S. Sokolov–Dobrev, A.I. Iskaliev – № 2020126917; zayavl. 12.08.20; opubl. 25.01.21, Byul. № 3.

### **Godzhaev Zakhid Adygezalovich**

doctor in technical science, professor,  
Corresponding Member of RAS, vice  
director of FSBSI FSAC VIM,  
109428, Russia, Moscow, 1st  
Institut'skiy 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, head of «Vehicles and  
engines» department, Volgograd  
state technical university,  
400005, RF, Volgograd, Lenin  
ave. 28,  
tel. (8442) 24–81–62,  
tslmv@vstu.ru

post-graduate student at «Vehicles and engines» department, Volgograd state technical university, 400005, RF, Volgograd, Lenin ave. 28, tel. (8442) 24–81–62  
ts@vstu.ru

student at «Vehicles and engines» department, Volgograd state technical university, 400005, RF, Volgograd, Lenin ave. 28, tel. (8442) 24–81–62, ts@vstu.ru

УДК 629.114.2.042.027.004

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-165-173

З.А. ГОДЖАЕВ, В.В. ШЕХОВЦОВ, М.В. ЛЯШЕНКО, А.И. ИСКАЛИЕВ, П.В. ПОТАПОВ

## СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ КАБИНЫ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

**Аннотация.** В состав конструкции современных транспортных средств входит система поддрессоривания кабины, в которую включаются разные по конструкции и принципу действия виброизоляторы, то есть механические, гидравлические, пневматические и комбинированные устройства, назначением которых является уменьшение амплитуд колебательных воздействий на кабину и, по возможности, поглощение части колебательной энергии. Способность виброизоляторов в течение нормативного срока эксплуатации снижать до необходимого уровня амплитуды воздействий на кабину со стороны рамы возможно оценивать по результатам их ресурсных стендовых испытаний. В настоящей статье представлено описание созданного в ВолгГТУ технического решения стенда для ресурсных испытаний виброизоляторов кабины транспортного средства. В эксплуатации виброизоляторы кабины транспортного средства испытывают нагружающие воздействия от вертикальных, продольно– и поперечно–угловых колебаний кабины, причем все нагружающие воздействия отличаются амплитудами и характером протекания во времени. Возможность воспроизведения в стендовых условиях эксплуатационных режимов нагружения виброизоляторов в предложенном авторами техническом решении стенда обеспечивается тремя ориентированными в вертикальном, продольно–осевом и поперечно–осевом направлениях электродвигателями с регулируемой частотой вращения и установленными на их валах кулачковыми эксцентриками с одинаковым или различным профилем, взаимодействующими с нагрузочной платформой. Таким образом обеспечивается возможность воспроизведения на испытываемом виброизоляторе нагрузок эксплуатационного характера от вертикальных, продольно– и поперечно–угловых колебаний кабины с разными амплитудами, частотами и характером протекания во времени каждого нагружающего воздействия, что повышает достоверность результатов испытаний.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Модель подвески кабины трактора / А.В. Победин, О.Д. Косов, В.В. Шеховцов, К.В. Шеховцов // Прогресс транспортных средств и систем – 2009: матер. междунар. н.–пр. конф., Волгоград, 13–15 окт. 2009 г.: в 2 ч. Ч. 1 / ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 2009. – С. 222–223.
2. Classification and Analysis of the Ways of Cabin Suspension Vibroinsulators` Characteristic Formation / В.В. Шеховцов, А.В. Победин, М.В. Ляшенко, К.В. Шеховцов // XXIX Seminarium Kół Naukowych "Mechaników", Warszawa, 22–23 kwietnia 2010 г.: referaty / Wojskowa Akademia Techniczna. – Warszawa, 2010. – S. 449–452. – Англ.
3. Development and Calculation Researches of the Vehicle`s Cabin Suspension Model / В.В. Шеховцов, А.В. Победин, М.В. Ляшенко, К.В. Шеховцов // XXIX Seminarium Kół Naukowych "Mechaników", Warszawa, 22–23 kwietnia 2010 г.: referaty / Wojskowa Akademia Techniczna. – Warszawa, 2010. – S. 453–458. – Англ.
4. Разработка модели и расчётные исследования подвески кабины транспортного средства / В.В. Шеховцов, А.В. Победин, М.В. Ляшенко, К.В. Шеховцов // Проектирование колёсных машин: матер. всерос. науч.–техн. конф., посвящ. 100–летию начала подгот. инж. по автомобильной специальности в МГТУ им. Н.Э. Баумана (25–26 дек. 2009 г.) / ГОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". – М., 2010. – С. 184–188.
5. Победин, А.В. Расчётные исследования для совершенствования подвески кабины автомобиля / А.В. Победин, В.В. Шеховцов, К.В. Шеховцов // Какой автомобиль нужен России?: матер. 69–й междунар. науч. техн. конф. Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ) / ГОУ ВПО "Сибирская гос. автомоб.–дор. академия (СибАДИ)" [и др.]. – Омск, 2010. – С. 112–117.
6. Шеховцов, В.В. Технические решения упруго–демпфирующих устройств подвески кабины трактора / В.В. Шеховцов, М.В. Ляшенко, В.П. Шевчук, Н.С. Соколов–Добрев, К.В. Шеховцов // Международный научно–исследовательский журнал = Research Journal of International Studies. – 2013. – № 7–2. – С. 122–125.
7. Анализ технических решений виброизоляторов / А.В. Победин, О.Д. Косов, В.В. Шеховцов, К.В. Шеховцов // Прогресс транспортных средств и систем – 2009: матер. междунар. н.–пр. конф., Волгоград, 13–15 окт. 2009 г.: в 2 ч. Ч. 1 / ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 2009. – С. 210–211.

8. Анализ и классификация технических решений виброизоляторов подвески кабины / В.В. Шеховцов, А.В. Победин, О.Д. Косов, К.В. Шеховцов // Проектирование колёсных машин: матер. всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию начала подгот. инж. по автомобильной специальности в МГТУ им. Н.Э. Баумана (25–26 дек. 2009 г.) / ГОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". – М., 2010. – С. 181–184.
9. П. м. 93477 РФ, МПК F 61 F 7/12. Виброизолятор / В.В. Шеховцов, А.В. Победин, Вл.П. Шевчук, М.В. Ляшенко, К.В. Шеховцов; ГОУ ВПО "Волгогр. гос. техн. ун-т". – 2010.
10. П. м. 100159 РФ, МПК F 16 F 3/10. Виброизолятор / В.В. Шеховцов, А.В. Победин, Вл.П. Шевчук, М.В. Ляшенко, К.В. Шеховцов; ГОУ ВПО "Волгогр. гос. техн. ун-т". – 2010.
11. П. м. 124340 РФ, МПК F16F3/093, F16F1/373. Виброизолятор / В.В. Шеховцов, А.В. Победин, Вл.П. Шевчук, О.Д. Косов, М.В. Ляшенко, К.В. Шеховцов; ГОУ ВПО "Волгогр. гос. техн. ун-т". – 2013.
12. П. м. 136110 РФ, МПК F16F3/087 / Виброизолятор кабины транспортного средства / К.В. Шеховцов, Н.С. Соколов–Добрев, А.В. Победин, Вл.П. Шевчук, М.В. Ляшенко, В.В. Шеховцов; ГОУ ВПО "Волгогр. гос. техн. ун-т". – 2013.
13. Стендовое оборудование для испытаний виброизоляторов кабины трактора / З.А. Годжаев, А.В. Победин, М.В. Ляшенко, К.В. Шеховцов // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – № 3. – С. 43–48.
14. Победин, А.В. Испытания виброизоляторов на стенде / А.В. Победин, К.В. Шеховцов // Изв. ВолгГТУ. Серия "Наземные транспортные системы". Вып. 4: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – № 12. – С. 41–43.
15. Шеховцов, К.В. Испытания виброизоляторов кабины трактора [Электронный ресурс] / К.В. Шеховцов // Инженерный вестник Дона: электронный журнал. – 2012. – № 1. – С. URL: <http://ivdon.ru/magazine/latest/n1y2012/639/>.
16. Ляшенко, М.В. Лабораторная установка для испытаний виброизоляторов / М.В. Ляшенко, А.В. Победин, К.В. Шеховцов // Вестник Академии военных наук. – 2011. – № 2 (спецвыпуск). – С. 270–274.
17. Шеховцов, В.В. Экспериментальное определение характеристик виброизоляторов кабины трактора / В.В. Шеховцов, М.В. Ляшенко, В.П. Шевчук, Н.С. Соколов–Добрев, К.В. Шеховцов // Международный научно-исследовательский журнал = Research Journal of International Studies. – 2013. – № 7–2. – С. 118–122.
18. Шеховцов, В.В. Стендовое оборудование для испытаний виброизоляторов кабины трактора / В.В. Шеховцов, М.В. Ляшенко, В.П. Шевчук, Н.С. Соколов–Добрев, К.В. Шеховцов // Международный научно-исследовательский журнал = Research Journal of International Studies. – 2013. – № 7–2. – С. 135–138.
19. Стенд для испытаний виброизоляторов [Электронный ресурс] / К.В. Шеховцов, А.В. Победин, М.В. Ляшенко, В.В. Шеховцов // Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров: матер. междунар. науч.-техн. конф. Ассоциации автомоб. инж. (ААИ), посвящ. 145-летию МГТУ "МАМИ" / Моск. гос. техн. ун-т «МАМИ». – М., 2010. – Кн. 1 (Секция 1). – С. 336–341. – URL: [URL:www.mami.ru/science/mami145/scientific/S\\_01htm](http://www.mami.ru/science/mami145/scientific/S_01htm).
20. Шеховцов, К.В. Vibration Isolators's Laboratory Testing Plant / К.В. Шеховцов, А.В. Победин, О.Д. Косов // 30th Anniversary Seminar of the Students` Association for Mechanical Engineering (11–13.05.2011, Warsaw, Poland): book of Abstracts / Military University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering. – Warsaw, 2011. – S. 66–67. – Англ.
21. П. м. 104714 РФ, МПК G 01 M 7/02. Стенд для испытаний виброизоляторов / В.В. Шеховцов, А.В. Победин, Вл.П. Шевчук, М.В. Ляшенко, К.В. Шеховцов, Д.В. Бусалаев; ГОУ ВПО "Волгогр. гос. техн. ун-т". – 2011.
22. П. м. 118056 РФ, МПК G 01 M 7/02. Стенд для испытаний виброизоляторов в режиме вынужденных и собственных колебаний / К.В. Шеховцов, А.В. Победин, Вл.П. Шевчук, М.В. Ляшенко; ГОУ ВПО "Волгогр. гос. техн. ун-т". – 2012.
23. П. м. 112416 РФ, МПК G 01 M 7/02. Стенд для испытаний виброизоляторов в режиме вынужденных колебаний / К.В. Шеховцов, А.В. Победин, Вл.П. Шевчук, М.В. Ляшенко, Д.В. Бусалаев; ГОУ ВПО "Волгогр. гос. техн. ун-т". – 2012.
24. П. м. 112417 РФ, МПК G 01 M 7/02. Стенд для испытаний виброизоляторов в режиме вынужденных колебаний / К.В. Шеховцов, А.В. Победин, Вл.П. Шевчук, М.В. Ляшенко, Д.В. Бусалаев; ГОУ ВПО "Волгогр. гос. техн. ун-т". – 2012.
25. П. м. 112415 РФ, МПК G 01 M 7/02. Стенд для испытаний виброизоляторов при действии нагрузок с осевой и боковой составляющими / К.В. Шеховцов, А.В. Победин, Вл.П. Шевчук, М.В. Ляшенко, Д.В. Бусалаев; ГОУ ВПО "Волгогр. гос. техн. ун-т". – 2012.
26. Перспективы использования динамических гасителей колебаний в подвесках тракторных кабин / А.В. Победин, В.В. Шеховцов, М.В. Ляшенко, Н.С. Соколов–Добрев, К.В. Шеховцов, З.А. Годжаев // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 11. – С. 16–21.
27. Шеховцов, К.В. Поддресоривание кабин тракторов с использованием динамических гасителей колебаний / Шеховцов К.В., Победин А.В., Соколов–Добрев Н.С., Шеховцов В.В. // Изв. ВолгГТУ. Серия "Наземные транспортные системы". Вып. 6: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 10. – С. 43–46.

---

**Годжаев Захид Адыгезалович**  
доктор технических наук,  
профессор, член–корреспондент

**Шеховцов Виктор Викторович**  
доктор технических наук,  
профессор, профессор кафедры  
«Транспортные машины и

**Ляшенко Михаил Вольфредович**  
доктор технических наук,  
профессор, заведующий кафедрой  
«Транспортные машины и

---

РАН, заместитель директора  
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ,  
109428, РФ, г. Москва, 1-й  
Институтский проезд, дом 5,  
тел.(499) 171-43-49,  
fic51@mail.ru

двигатели» Волгоградского  
государственного технического  
университета,  
400005, РФ, г. Волгоград, пр-т  
Ленина, 28,  
тел. (8442) 24-81-16,  
shehovtsov@vstu.ru

двигатели» Волгоградского  
государственного технического  
университета,  
400005, РФ, г. Волгоград, пр-т  
Ленина, 28,  
тел. (8442) 24-81-62,  
tslmv@vstu.ru

**Искалиев Азамат Ибрагимович**  
аспирант кафедры  
«Транспортные машины и  
двигатели» Волгоградского  
государственного технического  
университета,  
400005, РФ, г. Волгоград, пр-т  
Ленина, 28,  
тел. (8442) 24-81-62,  
ts@vstu.ru

**Потапов Павел Викторович**  
доцент кафедры «Транспортные  
машины и двигатели»  
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, A.I. ISKALIEV, P.V. POTAPOV

## TEST STAND FOR VIBRATION ISOLATORS OF VEHICLE CABIN SUSPENSION

**Abstract.** *Modern vehicles includes a cabin suspension that provides reducing of amplitudes of vibration impacts on the cabin and if possible absorption of vibration energy portion. The cabin suspension includes vibration isolators which have various constructions and operation principles: mechanical, hydraulic, pneumatic and combined mechanisms. Stand tests provides evaluation of vibration isolators ability to reduce amplitudes of impacts on the cabin from the vehicle frame down to a necessary level during normative lifetime. This paper presents the description of the tests stand for life tests of a vehicle cabin suspension created in VSTU. Vibration isolators of a vehicles cabin suspension are impacted by loads from vertical, longitudinal- and lateral-angular cabin vibrations during exploitation. At this all load impacts have various amplitudes and time profiles. Proposed test stand provides reproduction of operational load regimes for vibration isolators testing by scheme of the loading device. This device consists of three controlled electric motors which are oriented in vertical, longitudinal and lateral axial directions and cam eccentrics mounted on motors shafts. These eccentrics may have different or similar profiles and provides impact on the loading platform. So it is possible to reproduce operational loads from vertical, longitudinal- and lateral-angular cabin vibrations on tested vibration isolators at that vibrations may have various amplitudes, frequencies and time profiles for every load impact to increase reliability of the test results.*

**Keywords:** *vehicle cabin suspension, vibration isolator, stand tests, load device.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Model podveski kabini traktora / A.V. Pobedin, O.D. Kosov, V.V. Shehovcov, K.V. Shehovcov // Progress transportnih sredstv i sistem – 2009 – mater. mejdunar. n.–pr. konf. – Volgograd – 13–15 okt. 2009 g., v 2 ch. Ch. 1 / VolgGTU [i dr.]. – Volgograd, 2009. – С. 222–223.
2. Classification and Analysis of the Ways of Cabin Suspension Vibroinsulators` Characteristic Formation / V.V. Shehovcov, A.V. Pobedin, M.V. Lyashenko, K.V. Shehovcov // XXIX Seminarium Kół Naukowych "Mechaników", Warszawa, 22–23 kwietnia 2010 r. – referaty / Wojskowa Akademia Techniczna. – Warszawa, 2010. – S. 449–452. – Angl.
3. Development and Calculation Researches of the Vehicle`s Cabin Suspension Model / V.V. Shehovcov, A.V. Pobedin, M.V. Lyashenko, K.V. Shehovcov // XXIX Seminarium Kół Naukowych "Mechaników", Warszawa, 22–23 kwietnia 2010 r. – referaty / Wojskowa Akademia Techniczna. – Warszawa, 2010. – S. 453–458. – Angl.
4. Razrabotka modeli i raschyotnye issledovaniya podveski kabiny transportnogo sredstva / V.V. SHEhovcov, A.V. Pobedin, M.V. Lyashenko, K.V. SHEhovcov // Proektirovanie kolyosnyh mashin: mater. vseros. nauch.–tekhn. konf., posvyashch. 100–letiyu nachala podgot. inzh. po avtomobilnoj specialnosti v MGTU im. N.E. Bauma–na (25–26 dek. 2009 g.) / GOU VPO "MGTU im. N.E. Baumana". – M., 2010. – С. 184–188.
5. Pobedin, A.V. Raschyotnye issledovaniya dlya sovershenstvovaniya podveski kabiny avtomobilya / A.V. Pobedin, V.V. SHEhovcov, K.V. SHEhovcov // Kakoj avtomobil nuzhen Rossii?: mater. 69–j mezhdunar. nauch. tekhn. konf. Asociacii avtomobilnyh inzhenerov (AAI) / GOU VPO "Sibirskaya gos. avtomob.–dor. akademiya (SibADI)" [i dr.]. – Omsk, 2010. – С. 112–117.



6. SHEkhovcov, V.V. Tekhnicheskie resheniya uprugо–dempfiruyushchih ustrojstv podveski kabiny traktora / V.V. SHEkhovcov, M.V. Lyashenko, V.P. SHEvchuk, N.S. Sokolov–Dobrev, K.V. SHEkhovcov // *Mezhdunarodnyj nauchno–issledovatel'skij zhurnal = Research Journal of International Studies.* – 2013. – № 7–2. – S. 122–125.
7. Analiz tekhnicheskikh reshenij vibroizolyatorov / A.V. Pobedin, O.D. Kosov, V.V. SHEkhovcov, K.V. SHEkhovcov // *Progress transportnyh sredstv i sistem – 2009: mater. mezhdunar. n.–pr. konf., Volgograd, 13–15 okt. 2009 g.: v 2 ch. CH. 1 / VolgGTU [i dr.].* – Volgograd, 2009. – C. 210–211.
8. Analiz i klassifikaciya tekhnicheskikh reshenij vibroizolyatorov podveski kabiny / V.V. SHEkhovcov, A.V. Pobedin, O.D. Kosov, K.V. SHEkhovcov // *Proektirovanie kolyosnyh mashin: mater. vseros. nauch.–tekhn. konf., posvyashch. 100–letiyu nachala podgot. inzh. po avtomobilnoj specialnosti v MGTU im. N.E. Baumana (25–26 dek. 2009 g.) / GOU VPO "MGTU im. N.E. Baumana".* – M., 2010. – C. 181–184.
9. P. m. 93477 RF, MPK F 61 F 7/12. Vibroizolyator / V.V. SHEkhovcov, A.V. Pobedin, V.I.P. SHEvchuk, M.V. Lyashenko, K.V. SHEkhovcov; GOU VPO "Volgogr. gos. tekhn. un–t". – 2010.
10. P. m. 100159 RF, MPK F 16 F 3/10. Vibroizolyator / V.V. SHEkhovcov, A.V. Pobedin, V.I.P. SHEvchuk, M.V. Lyashenko, K.V. SHEkhovcov; GOU VPO "Volgogr. gos. tekhn. un–t". – 2010.
11. P. m. 124340 RF, MPK F16F3/093, F16F1/373. Vibroizolyator / V.V. SHEkhovcov, A.V. Pobedin, V.I.P. SHEvchuk, O.D. Kosov, M.V. Lyashenko, K.V. SHEkhovcov; GOU VPO "Volgogr. gos. tekhn. un–t". – 2013.
12. P. m. 136110 RF, MPK F16F3/087 / Vibroizolyator kabiny transportnogo sredstva / K.V. SHEkhov–cov, N.S. Sokolov–Dobrev, A.V. Pobedin, V.I.P. SHEvchuk, M.V. Lyashenko, V.V. SHEkhovcov; GOU VPO "Volgogr. gos. tekhn. un–t". – 2013.
13. Stendovoe oborudovanie dlya ispytaniy vibroizolyatorov kabiny traktora / Z.A. Godzhaev, A.V. Pobedin, M.V. Lyashenko, K.V. SHEkhovcov // *Traktory i selhozmashiny.* – 2012. – № 3. – C. 43–48.
14. Pobedin, A.V. Ispytaniya vibroizolyatorov na stende / A.V. Pobedin, K.V. SHEkhovcov // *Izv. Vol–gGTU. Seriya "Nazemnye transportnye sistemy". Vyp. 4: mezhvuz. sb. nauch. st. / VolgGTU.* – Volgograd, 2011. – № 12. – C. 41–43.
15. SHEkhovcov, K.V. Ispytaniya vibroizolyatorov kabiny traktora [Elektronnyj resurs] / K.V. SHEkhov–cov // *Inzhenernyj vestnik Dona: elektronnyj zhurnal.* – 2012. – № 1. – C. URL: <http://ivdon.ru/magazine/latest/n1y2012/639/>.
16. Lyashenko, M.V. Laboratornaya ustanovka dlya ispytaniy vibroizolyatorov / M.V. Lyashenko, A.V. Pobedin, K.V. SHEkhovcov // *Vestnik Akademii voennyh nauk.* – 2011. – № 2 (specvypusk). – C. 270–274.
17. SHEkhovcov, V.V. Eksperimentalnoe opredelenie harakteristik vibroizolyatorov kabiny traktora / V.V. SHEkhovcov, M.V. Lyashenko, V.P. SHEvchuk, N.S. Sokolov–Dobrev, K.V. SHEkhovcov // *Mezhdunarodnyj nauchno–issledovatel'skij zhurnal = Research Journal of International Studies.* – 2013. – № 7–2. – S. 118–122.
18. SHEkhovcov, V.V. Stendovoe oborudovanie dlya ispytaniy vibroizolyatorov kabiny traktora / V.V. SHEkhovcov, M.V. Lyashenko, V.P. SHEvchuk, N.S. Sokolov–Dobrev, K.V. SHEkhovcov // *Mezhdunarodnyj nauchno–issledovatel'skij zhurnal = Research Journal of International Studies.* – 2013. – № 7–2. – S. 135–138.
19. Stend dlya ispytaniy vibroizolyatorov [Elektronnyj resurs] / K.V. SHEkhovcov, A.V. Pobedin, M.V. Lyashenko, V.V. SHEkhovcov // *Avtomobile– i traktorostroenie v Rossii: priority razvitiya i podgotovka kad–rov: mater. mezhdunar. nauch.–tekhn. konf. Associacii avtomob. inzh. (AAI), posvyashch. 145–letiyu MGTU "MAMI" / Mosk. gos. tekhn. un–t «MAMI». – M., 2010. – Kn. 1 (Sekciya 1). – C. 336–341. – URL: [www.mami.ru/science/mami145/scientific/S\\_01htm](http://www.mami.ru/science/mami145/scientific/S_01htm).*
20. SHEkhovcov, K.V. Vibration Isolators` s Laboratory Testing Plant / K.V. SHEkhovcov, A.V. Pobedin, O.D. Kosov // *30th Anniversary Seminar of the Students` Association for Mechanical Engineering (11–13.05.2011, Warsaw, Poland): book of Abstracts / Military University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering.* – Warsaw, 2011. – S. 66–67. – Angl.
21. P. m. 104714 RF, MPK G 01 M 7/02. Stend dlya ispytaniy vibroizolyatorov / V.V. SHEkhovcov, A.V. Pobedin, V.I.P. SHEvchuk, M.V. Lyashenko, K.V. SHEkhovcov, D.V. Busalaev; GOU VPO "Volgogr. gos. tekhn. un–t". – 2011.
22. P. m. 118056 RF, MPK G 01 M 7/02. Stend dlya ispytaniy vibroizolyatorov v rezhime vyzhdenykh i sobstvennykh kolebanij / K.V. SHEkhovcov, A.V. Pobedin, V.I.P. SHEvchuk, M.V. Lyashenko; GOU VPO "Volgogr. gos. tekhn. un–t". – 2012.
23. P. m. 112416 RF, MPK G 01 M 7/02. Stend dlya ispytaniy vibroizolyatorov v rezhime vyzhdenykh kolebanij / K.V. SHEkhovcov, A.V. Pobedin, V.I.P. SHEvchuk, M.V. Lyashenko, D.V. Busalaev; GOU VPO "Volgogr. gos. tekhn. un–t". – 2012.
24. P. m. 112417 RF, MPK G 01 M 7/02. Stend dlya ispytaniy vibroizolyatorov v rezhime vyzhdenykh kolebanij / K.V. SHEkhovcov, A.V. Pobedin, V.I.P. SHEvchuk, M.V. Lyashenko, D.V. Busalaev; GOU VPO "Volgogr. gos. tekhn. un–t". – 2012.
25. P. m. 112415 RF, MPK G 01 M 7/02. Stend dlya ispytaniy vibroizolyatorov pri dejstvii nagruzok s osevoj i bokovoj sostavlyayushchimi / K.V. SHEkhovcov, A.V. Pobedin, V.I.P. SHEvchuk, M.V. Lyashenko, D.V. Busalaev; GOU VPO "Volgogr. gos. tekhn. un–t". – 2012.
26. Perspektivy ispolzovaniya dinamicheskikh gasitelej kolebanij v podveskah traktornyh kabin / A.V. Pobedin, V.V. SHEkhovcov, M.V. Lyashenko, N.S. Sokolov–Dobrev, K.V. SHEkhovcov, Z.A. Godzhaev // *Traktory i selhozmashiny.* – 2014. – № 11. – C. 16–21.
27. SHEkhovcov, K.V. Podressorivanie kabin traktorov s ispolzovaniem dinamicheskikh gasitelej kolebanij / SHEkhovcov K.V., Pobedin A.V., Sokolov–Dobrev N.S., SHEkhovcov V.V. // *Izv. VolgGTU. Seriya "Nazemnye transportnye sistemy". Vyp. 6: mezhvuz. sb. nauch. st. / VolgGTU.* – Volgograd, 2013. – № 10. – S. 43–46.

**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, head of “Vehicles and  
engines» department, Volgograd  
state technical university,  
400005, RF, Volgograd, Lenin ave.  
28,  
tel. (8442) 24-81-62,  
tslmv@vstu.ru

**Iskaliyev Azamat Ibragimovich**  
post-graduate student at «Vehicles and  
engines» department, Volgograd state  
technical university,  
400005, RF, Volgograd, Lenin ave. 28,  
tel. (8442) 24-81-62,  
ts@vstu.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

УДК 517.97:519.6:621.865.8

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-174-181

Н.И. ВАРМИНСКАЯ

## ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИСХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА УПРАВЛЯЕМОЕ ДВИЖЕНИЕ ОБЪЕКТА

**Аннотация.** Рассмотрены различные виды управлений переносным движением упругого объекта. При анализе динамики объекта в относительном движении обращено внимание на возможность снижения уровня колебаний за счет выбора приемлемого времени переносного движения. Показано, что погрешности задания исходных параметров управления влекут значительные отклонения от желаемого конечного состояния объекта. Графическое представление динамики относительного движения позволяет оценить влияние отклонений в достижении проектируемого конечного состояния. Графики переносного и относительного движения отражают характерные особенности динамики упругого объекта.

**Ключевые слова:** оптимальное управление, относительное и переносное движение, погрешность исходных параметров, колебания объекта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бидерман В.П. Прикладная теория механических колебаний / В.П. Бидерман. – М.: Высш. шк., 1972. – 416 с.
2. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара / Я.Г. Пановко. – Л.: Машиностроение, 1976. – 320 с.
3. Бабаков И.М. Теория колебаний / И.М. Бабаков. – М.: Наука, 1968. – 560 с.
4. Василенко Н.В. Теория колебаний / Н.В. Василенко. – К.: Вища шк., 1992. – 430 с.
5. Светлицкий В.А. Сборник задач по теории колебаний / В.А. Светлицкий, И.В. Стаценко. – М.: Высш. шк., 1973. – 456 с.
6. Солодовников В.В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования / В.В. Солодовников, В.Н. Плотников, А.В. Яковлев. – М.: Машиностроение, 1985. – 536 с.
7. Троицкий А.И. Оптимальные процессы колебаний механических систем / А.И. Троицкий. – Л.: Машиностроение, 1976. – 248 с.
8. Черноусько Ф.Л. Управление колебаниями / Ф.Л. Черноусько, Л.Д. Акуленко, Б.Н. Соколов. – М.: Наука, 1980. – 384 с.
9. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики управляемых систем: линейные модели / П.Д. Крутько. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
10. Красовский Н.Н. Теория оптимального управления / Н.Н. Красовский. – М.: Наука, 1968. – 476 с.
11. Теория автоматического регулирования. Ч II. Теория нелинейных систем автоматического регулирования / Под ред. А.А. Воронова. – М.: Госиздат, 1955. – 248с.
12. Карновский И.А. Методы оптимального управления колебаниями деформируемых систем / И.А. Карновский, Ю.М. Почтман. – К.: Высш. шк., 1982. – 416 с.

13. Бохонский А.И. Оптимальное управление переносным движением деформируемых объектов: теория и технические приложения / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, М.И. Мозолевский; Под общ. ред. А.И. Бохонского. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007. – 296 с.
14. Бохонский А.И. Вариационное и реверсионное исчисления в механике / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская; Под общ. ред. А.И. Бохонского. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2012. – 212 с.
15. Бохонский А.И. Реверсионный принцип оптимальности / А.И. Бохонский. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2016. – 174 с.
16. Bokhonsky A. Modelling and analysis of elastic system in motion / A. Bokhonsky, S. Zolkiewsky.–Gliwice: Wydawnictwo Politechniki, 2011. – 171 p.
17. Bokhonsky A. Modelling and investigation of discrete–continuous vibrating mechatronic systems with damping / Andrzej Buchacz, Aleksandr Bokhonsky, Marek Placzek, Andrzej Wrobel. – Gliwice: Wydawnictwo Politechniki, 2013. – 207 p.
18. Бохонский А.И. Конструирование оптимального управления движением объекта как абсолютно твердых и деформируемых тел / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, А.И. Рыжков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОГУ им.И.С.Тургенева, 2016. – № 3(317) 2016 – 4(318) 2016. – С. 70 – 76.
19. Варминская Н.И. Анализ форм движения антропоморфного манипулятора / Н.И.Варминская // Автоматизация и измерения в машино–приборостроении. – Брянск: Изд-во БГТУ, 2019. – № 2 (6). – С. 10 – 19.
20. Варминская Н.И. Динамика антропоморфного манипулятора с упругими звеньями при использовании оптимальных управлений движением / Н.И. Варминская // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОГУ им.И.С.Тургенева, 2021. – № 3(347) 2021. – С. 21 – 29.
21. Бохонский А.И. Принцип и теоремы реверсионного исчисления / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, А.И. Рыжков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОГУ им.И.С.Тургенева, 2021. – № 3(347) 2021. – С. 12 – 20.
22. Бохонский А.И. Конструирование управляемого движения объекта / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, Т.В. Мозолевская // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – Санкт–Петербург: НИЦ МС, 2020. – № 9. – С. 24 – 30.
23. Бохонский А.И., Варминская Н.И. Конструирование оптимальных управлений перемещением упругих объектов: монография / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская. – Санкт–Петербург: НИЦ МС, 2020. – 120 с.
24. Бохонский А.И. Оценка эффективности управлений перемещением объектов / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская // Автоматизация и измерения в машино–приборостроении. – Брянск: Изд-во БГТУ, 2019. – № 1 (5). – С. 84 – 91.
25. Bokhonsky A.I. Evaluation of energy consumption for the object motion optimal control / A.I. Bokhonsky, N.I. Varminskaya // IOP Conference Series. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment: Materials Science and Engineering (ICMTMTE 2019). – Том. 709, 4, Issue 3. – P. 044093. DOI: 10.1088/1757–899X/709/4/044093.
26. Bokhonsky A. Reducing of energy consumption for the objects motion with designed optimum control / A. Bokhonsky, N. Varminskaya, A. Ryzhkov // MATEC Web of Conferences. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment: Mechanical Engineering and Materials Science (ICMTMTE 2020). – V. 329 (2020). – P. 03064. <https://doi.org/10.1051/matecconf/202032903064>.
27. Бохонский А.И. Минимальная энергия оптимального управления для достижения цели движения объекта / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2020. – № 9. – С. 5 – 11.
28. Бохонский А.И. Управление с минимальной энергией переносным движением объектов / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, А.И. Рыжков // Автоматизация и измерения в машино–приборостроении. – Брянск: Изд-во БГТУ, 2021. – № 1(13). – С. 76 – 83.

### **Варминская Наталья Ивановна**

Черноморское высшее военно–морское ордена

Красной звезды училище имени П.С. Нахимова

299028, г. Севастополь, ул. Дыбенко, д. 1а

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой физики и общетехнических дисциплин

Тел. 8 (978) 832–83–44

E–mail: nvarminska@gmail.com

---

N.I. VARMINSKAYA

## **INFLUENCE OF INITIAL PARAMETERS ERRORS ON THE CONTROLLED OBJECT MOTION**

**Abstract.** *Various types of motion controls for the elastic object are considered. When analyzing the dynamics of an object in relative motion, attention is drawn to the possibility of reducing the level of oscillations due to the timing*

*of the translational movement. It is shown that inaccuracies in setting the initial control parameters entail significant deviations from the desired position at the end of the motion. The graphical representation of the relative motion dynamics allows one to assess the effect of deviations in achieving the projected final state. The graphics of the translational and relative motion reflect the characteristic features of the elastic object dynamics.*

**Keywords:** *optimal control, relative and translational motion, initial parameters error, object oscillations.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Biderman V.P. Applied theory of mechanical vibrations. – M.: Vyssh. shk., 1972. – 416 p.
2. Panovko Ya.G. Foundations of the applied theory of vibrations and impact. – L.: Mechanical engineering, 1976. – 320 p.
3. Babakov I.M. Oscillations theory. – M.: Nauka, 1968. – 560 p.
4. Vasilenko N.V. Oscillations theory. – K.: Vischa shk., 1992. – 430 p.
5. Svetlitskiy V.A. Collection of problems on the theory of oscillations / V.A. Svetlitskiy, I.V. Statsenko. – M.: Vyssh. shk., 1973. – 456 p.
6. Solodovnikov V.V. Fundamentals of theory and elements of automatic control systems / V.V. Solodovnikov, V.N. Plotnikov, A.V. Yakovlev. – M.: Mashinostroenie, 1985. – 536 p.
7. Troitskiy A.I. Optimal vibration processes of mechanical systems.–L.: Mechanical engineering, 1976.– 248 p.
8. Chernousko F.L. Oscillations control / F.L. Chernousko, L.D. Akulenko, B.N. Sokolov. – M.: Nauka, 1980. – 384 p.
9. Krutko P.D. Inverse problems of dynamics of controlled systems: linear models. – M.: Nauka, 1987.– 304 p.
10. Krasovskiy N.N. Optimal control theory. – M.: Nauka, 1968. – 476 p.
11. Theory of automatic regulation. V. II. Theory of nonlinear automatic control systems / Ed. A.A. Voronov. – M.: Gosizdat, 1955. – 248 p.
12. Karnovsky I.A. Methods of optimal control of oscillations of deformable systems / I.A. Karnovsky, Yu.M. Postman. – K.: Vyssh. shk., 1982. – 416 p.
13. Bokhonskiy A.I. Optimal control of portable motion of deformable objects: theory and technical applications / A.I. Bokhonskiy, N.I. Varminskaya, M.I. Mozolevskiy; Ed. A.I. Bokhonskiy. – Sevastopol: SevNTU, 2007. – 296 p.
14. Bokhonskiy A.I. Variational and reverse calculus in mechanics / A.I. Bokhonskiy, N.I. Varminskaya; Ed. A.I. Bokhonskiy. – Sevastopol: SevNTU, 2012. – 212 p.
15. Bokhonskiy A.I. Reversible principle of optimality. – M.: University textbook: INFRA–M, 2016. – 174 p.
16. Bokhonskiy A. Modeling and analysis of elastic system in motion / A. Bokhonskiy, S. Zolkiewskiy. – Gliwice: Wydawnictwo Politechniki, 2011. – 171 p.
17. Bokhonskiy A. Modeling and investigation of discrete–continuous vibrating mechatronic systems with damping / Andrzej Buchacz, Aleksandr Bokhonskiy, Marek Placzek, Andrzej Wrobel. – Gliwice: Wydawnictwo Politechniki, 2013. – 207 p.
18. Bokhonskiy A.I. Designing of the motion optimal control of the object as absolutely rigid and deformable bodies / A.I. Bokhonskiy, N.I. Varminskaya, A.I. Ryzhkov // Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology. – Orel: OGU im.I.S.Turgeneva, 2016. – № 3(317) 2016 – 4(318) 2016. – P. 70 – 76.
19. Varminskaya N.I. Analysis of the motion forms for the anthropomorphic manipulator / N.I. Varminskaya // Automation and measurements in mechanical engineering. – Bryansk: BGTU, 2019. – № 2 (6). – P. 10 – 19.
20. Varminskaya N.I. Dynamics of an anthropomorphic manipulator with elastic links when using optimal motion controls / N.I. Varminskaya // Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology. – Orel: OGU im.I.S.Turgeneva, 2021. – № 3(347) 2021. – P. 21 – 29.
21. Bokhonskiy A.I. Principle and theorems of reverse calculus / A.I. Bokhonskiy, N.I. Varminskaya, A.I. Ryzhkov // Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology. – Orel: OGU im.I.S.Turgeneva, 2021. – № 3(347) 2021. – P. 12 – 20.
22. Bokhonskiy A.I. Designing of the object controlled motion / A.I. Bokhonskiy, N.I. Varminskaya, T.V. Mozolevskaya // Transport, mining and construction engineering: science and production. – St–Peterburg: NIC MS, 2020. – № 9. – P. 24 – 30.
23. Bokhonskiy A.I., Varminskaya N.I. Designing of optimal controls for the elastic objects motion: monography / A.I. Bokhonskiy, N.I. Varminskaya. – St–Peterburg: NIC MS, 2020. – 120 p.
24. Bokhonskiy A.I. Evaluation of the effectiveness of the objects motion control / A.I. Bokhonskiy, N.I. Varminskaya // Automation and measurements in mechanical engineering.– Bryansk:BGTU, 2019.– № 1 (5).– P.84–91.
25. Bokhonskiy A.I. Evaluation of energy consumption for the object motion optimal control / A.I. Bokhonskiy, N.I. Varminskaya // IOP Conference Series. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment: Materials Science and Engineering (ICMTMTE 2019). – Tom. 709, 4, Issue 3. – P. 044093. DOI: 10.1088/1757–899X/709/4/044093.
26. Bokhonskiy A. Reducing of energy consumption for the objects motion with designed optimum control / A. Bokhonskiy, N. Varminskaya, A. Ryzhkov // MATEC Web of Conferences. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment: Mechanical Engineering and Materials Science (ICMTMTE 2020). – V. 329 (2020). – P. 03064. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202032903064>.
27. Bokhonskiy A.I. Minimal energy of optimal control to achieve the goal of object motion / A.I. Bokhonskiy, N.I. Varminskaya // Computer–aided design in mechanical engineering. – 2020. – № 9. – P. 5 – 11.

28. Bokhonsky A.I. Control of objects translational motion with minimal energy / A.I. Bokhonsky, N.I. Varminskaya, A.I. Ryzhkov // Automation and measurements in mechanical engineering. – Bryansk: BGTU, 2021. – № 1(13). – P. 76 – 83.

**Varminskaya Natalia Ivanovna**

Black Sea Higher Naval Order of the Red Star School named after P.S. Nakhimov  
299028, Sevastopol, st. Dybenko, 1a

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physics and General Technical Disciplines  
Tel. 8 (978) 832–83–44

E-mail: nvarminska@gmail.com

УДК 621. 923

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-182-186

А.О. ХАРЧЕНКО, Ю.К. НОВОСЕЛОВ, А.А. ХАРЧЕНКО

**ВЫРАБОТКА КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУР СТАНОЧНЫХ МОДУЛЕЙ**

**Аннотация.** В статье рассмотрен процесс выработки критерия эффективности при решении задач синтеза структур станочных модулей. При решении задач синтеза структур на начальных этапах рекомендуется применять метод морфологического анализа, основанный на использовании морфологии объектов и позволяющий организовать и систематически анализировать пространство их изменений. Наряду с реально возможными комбинациями характеристик метод дает большое количество несовместимых вариантов, объективная оценка эффективности каждого из которых затруднена. Для оценки предпочтительного варианта модуля при автоматизированном проектировании необходима выработка критерия оптимальности, учитывающего вероятности безотказной и беспереналадочной работы технологической системы. Определена частная целевая функция оптимизации, для оценки оптимальности решений при выборе из сопоставимых вариантов предложен интегральный критерий более высокого уровня, который в явном виде связывает суммарную годовую эффективность от эксплуатации оборудования при выполнении требований к качеству продукции с суммарными затратами на его создание и эксплуатацию. Описаны методика выбора технологических элементов оборудования и подход к оценке предпочтительного варианта модуля при автоматизированном проектировании.

**Ключевые слова:** синтез станочных модулей, интегральная оценочная функция, поток отказов, поток переналадки, рациональный вариант модуля.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Novoselov, Yu.K., Kharchenko A.O. Choice of the Optimal Structure of a Flexible Production Cell / Novoselov, Yu.K., Kharchenko A.O. // Soviet engineering research, 1987. – 7(2), P. 48–52.
2. Нахапетян Е.Г. Диагностирование оборудования гибкого автоматизированного производства / Е.Г. Нахапетян. – М.: Наука, 1985. – 224 с.
3. 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.
4. Пуш В.Э. Автоматические станочные системы / В.Э. Пуш, В.Л. Сосонкин. – М.: Машиностроение, 1982. – 319 с.
5. Долгин В.П. Надежность технических систем: учеб. пособие / В.П. Долгин, А.О. Харченко. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА–М, 2015. – 167 с.
6. Харченко А.О. Анализ и исследование эксплуатационной и технологической надежности оборудования для внутренней мелкоразмерной резбобработки / А.О. Харченко, Е.А. Владецкая // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», 2021. № 3 (347). – С.30–39. DOI: 10.33979/2073–7408–2021–346–2–30–39.
7. Харченко А.О. Анализ и исследование переналаживаемости оборудования для внутренней мелкоразмерной резбобработки / А.О. Харченко, А.А. Харченко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», 2021. № 2 (346). – С.93–99. DOI: 10.33979/2073–7408–2021–346–2–93–99. ISSN–2073–7408.

**Харченко Александр Олегович**  
ФГАОУ ВО «Севастопольский  
государственный университет»,  
г. Севастополь  
Кандидат технических наук,  
профессор кафедры «Технология  
машиностроения»  
299053, г. Севастополь,  
ул. Университетская, 33

**Новоселов Юрий Константинович**  
ФГАОУ ВО «Севастопольский  
государственный университет»,  
г. Севастополь  
Доктор технических наук,  
профессор кафедры «Технология  
машиностроения»  
299053, г. Севастополь,  
ул. Университетская, 33

**Харченко Андрей Александрович**  
ФГАОУ ВО «Севастопольский  
государственный университет»,  
г. Севастополь  
Кандидат технических наук,  
доцент кафедры  
«Автомобильный транспорт»  
299053, г. Севастополь,  
ул. Университетская, 33

---

A.O. KHARCHENKO, Yu.K. NOVOSELOV, A.A. KHARCHENKO

## DEVELOPMENT OF EFFICIENCY CRITERION FOR OPTIMIZING THE STRUCTURES OF MACHINE UNITS

**Abstract.** *The article discusses the process of developing an efficiency criterion when solving problems of synthesizing the structures of machine modules. When solving problems of the synthesis of structures at the initial stages, it is recommended to apply the method of morphological analysis based on the use of the morphology of objects and allowing to organize and systematically analyze the space of their changes. Along with the actually possible combinations of characteristics, the method gives a large number of incompatible options, an objective assessment of the effectiveness of each of which is difficult. In order to evaluate the preferred module option for automated design, it is necessary to develop an optimality criterion that takes into account the probabilities of trouble-free and commission-free operation of the technological system. A particular objective optimization function is determined, to evaluate the optimality of solutions when choosing from comparable options, an integral higher level criterion is proposed, which explicitly associates the total annual efficiency of equipment operation when meeting the requirements for product quality with total costs for its creation and operation. Describes the method of selection of technological elements of equipment and the approach to the evaluation of the preferred option module with computer-aided design.*

**Keywords:** *synthesis of machine modules, integral evaluation function, failure stream, conversion stream, rational module variant.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Novoselov, Yu.K., Kharchenko A.O. Choice of the Optimal Structure of a Flexible Production Cell / Novoselov, Yu.K., Kharchenko A.O. // Soviet engineering research, 1987. – 7(2), P. 48–52.
2. Nakhapetyan Ye.G. Diagnostirovaniye oborudovaniya gibkogo avtomatizirovannogo proizvodstva (*Diagnosing Equipment for Flexible Automated Production*) / Ye.G. Nakhapetyan. – M.: Nauka, 1985. – 224 s.
3. 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.
4. Push V.E. Avtomaticheskiye stanochnyye sistemy (*Automatic machine tools*) / V.E. Push, V.L. Sosonkin. – M.: Mashinostroyeniye, 1982. – 319 s.
5. Dolgin V.P. Nadezhnost tekhnicheskikh system (*Reliability of technical systems*) / V.P. Dolgin, A.O. Kharchenko. – M.: Vuzovskiy uchebnik: INFRA–M, 2015. – 167 s.
6. Kharchenko A.O. Analiz i issledovaniye ekspluatatsionnoy i tekhnologicheskoy nadezhnosti oborudovaniya dlya vnutrenney melkorazmernoy rezboobrabotki (*Analysis and research of operational and technological reliability of equipment for internal small-sized thread processing*) / A.O. Kharchenko, Ye.A. Vladetskaya // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – Orel: FGBOU VO «OGU imeni I.S. Turgeneva», 2021. № 3 (347). – S. 30–39. DOI: 10.33979/2073–7408–2021–346–2–30–39.
7. Kharchenko A.O. Analiz i issledovaniye perenalazhivayemosti oborudovaniya dlya vnutrenney melkorazmernoy rezboobrabotki (*Analysis and research of readjustment of equipment for internal small-sized thread processing*) / A.O. Kharchenko, A.A. Kharchenko // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – Orel: FGBOU VO «OGU imeni I.S. Turgeneva», 2021. № 2 (346). – S. 93–99. DOI: 10.33979/2073–7408–2021–346–2–93–99. ISSN–2073–7408.

**Kharchenko Alexander Olegovich**  
"Sevastopol State University",  
Sevastopol  
Ph.D., Professor of the department  
"Technology of mechanical  
engineering"  
299053, Sevastopol, Universitetskaya  
St., 33  
Tel. +7 (8692) 41–77–41–(11–50)  
E–mail: khao@list.ru

**Novoselov Yuri Konstantinovich**  
"Sevastopol State University",  
Sevastopol  
Doctor of Technical Sciences,  
Professor of the department  
"Technology of mechanical  
engineering"  
299053, Sevastopol,  
Universitetskaya St., 33  
Tel. +7 (8692) 41–77–41–(11–50)  
E–mail: UKNovoselov@sevsu.ru

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

А.А. ВОЖЖОВ

## МОДЕЛЬ ТОЧЕНИЯ ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ОППОЗИТНЫМ РАЗМЕЩЕНИЕМ РЕЗЦОВ

**Аннотация.** Проведен анализ технологической схемы двурезцового фасонного точения с оппозитным размещением резцов. Рассмотрена неустойчивая форма колебаний системы резец – заготовка в процессе точения. Представлены зависимости позволяющие оценить величины колебаний при обработке и ряд экспериментальных исследований подтверждающих теоретические предположения.

**Ключевые слова:** двурезцовое точение с оппозитным размещением резцов, фасонная поверхность, колебания, качество поверхности, точение, эффективность процесса.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вейц З.Л. Вынужденные колебания в металлорежущих станках / З.Л. Вейц, В.К. Дондошанский, В.И. Чиряев. – М. – Л. : Mashgiz, 1959. – 288 с.
2. Маталин А.А. Влияние вибраций системы СПИД и неравномерности припуска заготовки на качество поверхности при тонком растачивании / А.А. Маталин, К.В. Ломакин. – В кн.: Передовая технология и автоматизация управления процессами обработки деталей машин. – Л.: Машиностроение, 1970. – С.219– 225.
3. Вожжов А.А. Анализ относительных вынужденных колебаний инструмента и детали при фасонном точении / А.А. Вожжов, М.А. Худаймуратов // Вестник современных технологий: сб. науч. тр. Севастоп. гос. ун-та; – Севастополь: СевГУ, 2016. – Вып. 4.
4. Соломенцев Ю.М. Адаптивное управление технологическими процессами / Ю.М. Соломенцев В.Г. Митрофанов, С.П. Протопопов и др. М.: Машиностроение, 1980. – 536 с.
5. Бохонский А.И. Моделирование динамики нежестких деталей при токарной обработке / А.И. Бохонский, Е.В. Пашков, А.А. Вожжов // Оптимизация производственных процессов: Изд-во СевГТУ, 1999. – Вып.2.
6. Вожжов А.А. Моделирование процесса двурезцового точения фасонных поверхностей / А.А. Вожжов., Е.В. Пашков. – «Научноёмкие технологии в машиностроении», ежемесячный научно-технический и производственный журнал, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», 2017. – №6(72).

**Вожжов Андрей Анатольевич**  
ФГАОУ ВО Севастопольский государственный  
университет, г. Севастополь,  
Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Приборные системы и автоматизация  
технологических процессов»,  
e-mail: 0506773532@mail.ru

---

A.A. VOZHZHOV

## TURNING MODEL FOR SHAPED SURFACES WITH OPPOSITE CUTTERS

**Abstract.** The analysis of the technological scheme of double-cutter shaped turning with opposed placement of cutters is carried out. An unstable form of oscillations of the cutter – workpiece system during turning is considered. Dependences are presented that allow estimating the magnitude of oscillations during processing and a number of experimental studies that confirm theoretical assumptions.

**Keywords:** double-cutter turning with opposed cutters, shaped surface, vibrations, surface quality, turning, process efficiency.

### BIBLIOGRAPHY

1. Vejcz Z.L. Vy`nuzhdenny`e kolebaniya v metallovezhushhix stankax / Z.L. Vejcz, V.K. Dondoshanskij, V.I. Chiryaev. – M. – L.: Mashgiz, 1959. – 288 s.

2. Matalin A.A. Vliyanie vibracij sistemy` SPID i neravnomernosti pripuska zagotovki na kachestvo poverxnosti pri tonkom rastachivanii / A.A. Matalin, K.V. Lomakin. – V kn.: Peredovaya texnologiya i avtomatizaciya upravleniya processami obrabotki detalej mashin. – L.: Mashinostroenie, 1970. – S.219– 225.

3. Vozhzhov A.A. Analiz odnositel`ny`x vy`nuzhdenny`x kolebanij instrumenta i detali pri fasonnom tochenii / A.A. Vozhzhov, M.A. Xudajmuratov // Vestnik sovremenny`x texnologij: sb. nauch. tr. Sevastop. gos. un–t;. – Sevastopol` : SevGU, 2016. – Vy`p. 4.

4. Solomencev Yu.M. Adaptivnoe upravlenie texnologicheskimi processami / Yu.M. Solomencev V.G. Mitrofanov, S.P. Protopopov i dr. M.: Mashinostroenie, 1980. – 536 s.

5. Boxonskij A.I. Modelirovanie dinamiki nezhestkix detalej pri tokarnoj obrabotke / A.I.Boxonskij, E.V.Pashkov, A.A. Vozhzhov // Optimizaciya proizvodstvenny`x processov: Izd–vo SevGTU, 1999. – Vy`p.2.

6. Vozhzhov A.A. Modelirovanie processa dvurezczovogo tocheniya fasonny`x poverxnostej / A.A. Vozhzhov., E.V. Pashkov. – «Naukoyomkie texnologii v mashinostroenii», ezhemesyachny`j nauchno–texnicheskij i proizvodstvenny`j zhurnal, FGBOU VO «Bryanskij gosudarstvenny`j texnicheskij universitet», 2017. – №6(72).

**Vozhzhov Andrey Anatolyevich**

Sevastopol State University, Sevastopol, Russia,  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of  
the Department "Instrument systems and automation of  
technological processes",  
e–mail: 0506773532@mail.ru

УДК 629.12.03–714.001.24

DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-193-199

А.Р. АБЛАЕВ, Р.Р. АБЛАЕВ

## ОЦЕНКА ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ЭНЕРГОУСТАНОВОК

*Аннотация.* Приводится методика оценки тепловой эффективности теплообменных аппаратов применяя вычислительный эксперимент на основе уточненной модели теплового и гидродинамического расчета

**Ключевые слова:** теплообменный аппарат, эффективность, теплоотдача, гидравлическое сопротивление.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аблаев А.Р. Критерии эффективности оборудования (элементов систем) // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2019. – №4–1 (336). – С. 59–65.

2. Аблаев Р.Р. Постановка задачи оптимальной ресурсоэффективной компоновки механизированных объектов / Р.Р. Аблаев, А.Р. Аблаев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2020. – №1 (339). С. 70–74. DOI: 10.33979/2073–7408–2020–339–1–70–74.

3. Берлин М.А. Методические основы комплексной оптимизации технологических систем / М.А. Берлин. – Химическая технология, 1981. – № I. – С. 39–41.

4. Демиденко, Н.Д. Моделирование и оптимизация технических систем с распределенными параметрами: учеб. пособие для вузов/Н.Д. Демиденко, Л.В. Кулагина. –Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. –210 с.

5. Демиденко, Н.Д. Моделирование и оптимизация технологических систем с распределенными параметрами/Н.Д. Демиденко, Л.В. Кулагина//Вестн. Сиб. аэрокосм. ун–та. –2014. –<sup>1</sup> 3(55). –С. 55–63.

6. Зайцев С.В. Оптимизация технических систем: учеб. пособие / С.В. Зайцев, М.Ю. Тимофеев. – М.: МАДИ, 2019. – 124 с

7. Каневец Г. Е. Обобщенные методы расчета теплообменников / Г. Е. Каневец. – К.: Наук. думка, 1979. – 352 с.

8. Каневец Г. Е. Принципы создания синтезатора алгоритмов и программ оптимизации пластинчатых теплообменных аппаратов / Г. Е. Каневец, О. В. Алтухова // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2014. – № 12. – С. 35–39.

9. Каневец Г.Е., Берлин М.А. Принципы автоматизированного проектирования и оптимизации химико–технологических производств. Киев: Общество «Знание» УССР, 1981. 30 с.

10. Охладители масла и воды кожухотрубные с прямыми трубками. Технические условия // ОСТ 5.4254–86. – М., 1987. – 51 с.



**Аблаев Алим Рустемович**  
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергоустановок морских судов и сооружений»  
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33  
Тел. 8978–810–05–64  
E-mail: ARAblaev@sevsu.ru

**Аблаев Ремзи Рустемович**  
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,  
г. Севастополь  
Кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика предприятий»  
299053, г. Севастополь,  
ул. Университетская, 33  
Тел. 8978–801–91–41  
E-mail: ablaev.expert@mail.ru

---

A.R. ABLAEV, R.R. ABLAEV

## **EVALUATION OF THERMAL EFFICIENCY WHEN DESIGNING HEAT-EXCHANGING DEVICES OF SYSTEMS FOR PROVIDING THERMAL REGIME OF POWER INSTALLATIONS**

**Abstract.** *A method is given for assessing the thermal efficiency of heat exchangers using a computational experiment based on a refined model of thermal and hydrodynamic calculation.*

**Keywords:** *heat exchanger, efficiency, heat transfer, hydraulic resistance.*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Ablaev A.R. Kriterii effektivnosti oborudovaniya (elementov sistem) // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2019. – №4–1 (336).
2. Ablaev R.R. Postanovka zadachi optimalnoj resursoeffektivnoj komponovki mekhanizirovannykh ob"ektov / R.R. Ablaev, A.R. Ablaev // Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2020. – №1 (339). DOI: 10.33979/2073–7408–2020–339–1–70–74.
3. Berlin M.A. Metodicheskie osnovy kompleksnoj optimizatsii tekhnologicheskikh sistem / M.A. Berlin. – Himicheskaya tekhnologiya, 1981. – № I.
4. Demidenko, N.D. Modelirovanie i optimizatsiya tekhnicheskikh sistem s raspredelennymi parametrami: ucheb. posobie dlya vuzov/N.D. Demidenko, L.V. Kulagina. –Krasnoyarsk: IPC KGTU, 2006.
5. Demidenko, N.D. Modelirovanie i optimizatsiya tekhnologicheskikh sistem s raspredelennymi parametrami/N.D. Demidenko, L.V. Kulagina//Vestn. Sib. aerokosm. un–ta. –2014. – 3(55).
6. Zajcev S.V. Optimizatsiya tekhnicheskikh sistem: ucheb. posobie / C.V. Zajcev, M.YU. Timofeev. – M.: MADI, 2019.
7. Kanevec G. E. Obobshchennyye metody rascheta teploobmennikov / G. E. Kanevec. – K.: Nauk. dumka, 1979.
8. Kanevec G. E. Principy sozdaniya sintezatora algoritmov i programm optimizatsii plastinchatykh teploobmennyykh apparatov / G. E. Kanevec, O. V. Altuhova // Energoberezhenie. Energetika. Energoaudit. – 2014. – № 12.
9. Kanevec G.E., Berlin M.A. Principy avtomatizirovannogo proektirovaniya i optimizatsii himiko–tekhnologicheskikh proizvodstv. Kiev: Obshchestvo «Znanie» USSR, 1981.
10. Ohladiteli masla i vodiy kojuhotrubniye s pryamymi trubkami. Tehnicheskie usloviya OST 5.4254–86. M., 1987.

**Ablaev Alim Rustemovich**  
Ph.D., Associate Professor  
Sevastopol State University  
299053, Sevastopol, Universitetskaya Str. 33  
Ph.: 8978–810–05–64  
E-mail: ARAblaev@sevsu.ru

**Ablaev Remzi Rustemovich**  
Ph.D., Associate Professor  
Sevastopol State University  
299053, Sevastopol, Universitetskaya Str. 33  
Ph.: 8978–801–91–41  
E-mail: ablaev.expert@mail.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(920)2806645, +7(906)6639898  
  
<http://oreluniver.ru>  
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 20.10.2021 г.  
Дата выхода в свет 28.10.2021 г.  
Формат 70X108/16. Усл. печ. л. 12,5  
Цена свободная. Тираж 1000 экз.  
Заказ 141

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