

## АННОТАЦИИ

УДК 621.891 : 620.22

**СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ  
ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ СТАЛЕЙ,  
ПОДВЕРГНУТЫХ ИОННО-ЛУЧЕВОМУ АЗОТИРОВАНИЮ****Белый Алексей Владимирович**

Физико-технический институт НАН Беларуси,  
220141, Беларусь, г. Минск, ул. Купревича, д. 10,  
заместитель директора,  
отдел пучковых и плазменных технологий,  
заведующий отделом,  
член-корреспондент НАН Беларуси,  
доктор технических наук, профессор,  
телефон (+375 29) 684-14-66,  
e-mail: vmo@tut.by

**Белоцерковский Марат Артемович**

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,  
220072, Беларусь, г. Минск, ул. Академическая, д. 12,  
лаборатория «Газотермические методы упрочнения деталей машин»,  
заведующий лабораторией,  
телефон (+375 17) 284-28-63, (375 29) 779-58-28,  
e-mail: mbelotser@gmail.com.by

**Григорчик Александр Николаевич**

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,  
младший научный сотрудник  
телефон (+375 17) 284-28-63, (+375 29) 779-58-28,  
e-mail: mbelotser@gmail.com.by

**Иваночкин Павел Григорьевич**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2,  
кафедра «Теоретическая механика»,  
доктор технических наук, профессор,  
телефон +7 (863) 259-53-48,  
e-mail: ivanochkin\_p\_g@mail.ru

**Кукареко Владимир Аркадьевич**

Физико-технический институт НАН Беларуси,  
лаборатория «Высокоэнергетические методы обработки»,  
доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией,  
телефон (+375 29) 169-05-09,  
e-mail: v\_kukareko@mail.ru.

**Мясникова Нина Алексеевна**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Теоретическая механика»,  
кандидат физико-математических наук, доцент,  
телефон +7 (863) 259-53-48,  
e-mail: myasnikova@rgups.ru

Исследованы структура, фазовый состав, дюрометрические и триботехнические свойства гиперзвуковых газотермических покрытий из высокохромистых сталей 40X13, 95X18 и 06X19N9T в исходном состоянии и после ионно-лучевого азотирования в интервале температур 650–890 К. Обнаружено, что в покрытиях из мартенситных сталей 40X13 и 95X18 в исходном состоянии содержится аномально высокое количество метастабильной  $\gamma$ -фазы. Показано, что ионно-лучевое азотирование

газотермических покрытий приводит к образованию в их поверхностных слоях преимущественно высокоазотистых нитридов. Установлено, что при граничном трении износостойкость обработанных ионами азота покрытий из сталей 40X13, 95X18 и 06X19N9T в 5, 2 и 140 раз превышает их износостойкость в исходном состоянии.

*Ключевые слова:* гиперзвуковое газотермическое напыление, высокохромистые стали, ионно-лучевое азотирование, фазовый состав, износостойкость.

## **STRUCTURAL-PHASE STATE AND WEARING RESISTANCE OF THERMAL COATINGS FROM HIGH-CHROMIUM STEELS SUBJECTED TO ION-BEAM NITRIDING**

### **Beliy Aleksey Vladimirovich**

Physic Technical Institute NAS of Belarus,  
10, Kuprevicha st., Minsk, 220141, Belarus,  
Deputy Director,  
Department Bunch and Plasma Technologies,  
Head of the Department,  
Corresponding member NAS of Belarus,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
phone (+375 29) 684-14-66,  
e-mail: vmo@tut.by

### **Belotserkovskii Marat Artemovich**

Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus,  
12, Academic st., Minsk, 220072, Belarus,  
Laboratory of Gas-Thermal Methods of Hardening of Machine Parts,  
Head of the Laboratory,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
phone (+375 17) 284-28-63, (+375 29) 779-58-28,  
e-mail: mbelotser@gmail.com.by

### **Grigorich Alexander Nikolayevich**

Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus,  
Junior Researcher,  
phone (+375 17) 284-28-63, (+375 29) 779-58-28,  
e-mail: mbelotser@gmail.com.by

### **Ivanochkin Pavel Grigoryevich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia,  
Chair «Theoretical Mechanics»,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
phone +7 (863) 259-53-48,  
e-mail: ivanochkin\_p\_g@mail.ru

### **Kukareka Vladimir Arcadyevich**

Physic Technical Institute NAS of Belarus,  
Head of Laboratory «High-Energy Methods of Processing»,  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,  
phone (+375 29) 169-05-09,  
e-mail: v\_kukareko@mail.ru

### **Myasnikova Nina Alekseyevna**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Theoretical Mechanics»,  
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,  
phone +7 (863) 259-53-48,  
e-mail: myasnikova@rgups.ru

The structure, phase composition, and tribological properties durometrical hypersonic thermal coatings from high-chromium steels 40X13, 95X18 and 06H19N9T at baseline and after the ion-beam nitriding in the temperature range 650-890 K are researched. It is found that the surfaces of martensitic steels 40X13 and 95X18 in the initial state contain an abnormally high number of metastable  $\gamma$ -phase. It is shown that ion-

beam nitriding thermal coatings lead to the formation of the surface layers mainly of High-nitrides. It is found that for boundary friction wear coating treated with nitrogen ions from steel 40X13, 95X18 06H19N9T and 5, 2 and 140 times, respectively, higher than their wearing resistance in the initial state.

*Keywords:* hypersonic gas-thermal spraying, high-chromium steels, ion-beam nitriding, phase composition, wearing resistance.

**УДК 678.767**

### **ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ФЕНИЛОНА**

**Буря Александр Иванович**

Днепровский государственный технический университет (ДГТУ),  
51918, Украина, Днепропетровская область, г. Камыньское, ул. Днепропетровская, д. 2,  
кафедра «Физика конденсированного состояния»,  
кандидат технических наук, профессор,  
Академик Украинской Технологической Академии,  
телефон +38 (050) 452-58-95,  
e-mail: ol.burya@gmail.com.

**Ерёмина Екатерина Андреевна**

Днепровский государственный технический университет (ДГТУ),  
кафедра «Физика конденсированного состояния»,  
аспирант,  
телефон +38 (093) 739-15-63,  
e-mail: eka.yeriomina@gmail.com

**Колесников Владимир Иванович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2,  
президент РГУПС,  
академик РАН,  
кафедра «Теоретическая механика»,  
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой,  
телефон +7 (863) 245-49-29,  
e-mail: kvi@rgups.ru

Исследовано влияние различных металлических наполнителей на теплофизические характеристики металлополимеров. Показано, что наполнители не снижают термостойкость фенилона и улучшают коэффициенты термического линейного расширения, теплопроводности и температуропроводности. Обнаружена корреляция между термическими свойствами и структурными превращениями на молекулярном уровне.

*Ключевые слова:* ароматический полиамид, металлополимеры, теплофизические характеристики.

### **STUDYING OF HEATPHYSICAL CHARACTERISTICS OF METALPOLYMERS ON THE FENILON BASIS**

**Burya Alexander Ivanovich**

Dniprovsk State Technical University (DSTU),  
2, Dniprostrovetska st., Kamenskoe, Dnieper region, 51918, Ukraine,  
Chair «Physics of Condensed State»,  
Candidate of Engineering Sciences, Professor,  
Academician of Ukrainian Technological Academy,  
phone +38 (050) 452-58-95,  
e-mail: ol.burya@gmail.com.

**Yeriomina Yekaterina Andreyevna**

Dniprovsk State Technical University (DSTU),  
Chair «Physics of Condensed State»,  
Postgraduate,  
phone +38 (093) 739-15-63,  
e-mail: eka.yeriomina@gmail.com

**Kolesnikov Vladimir Ivanovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia,  
President RSTU,  
Academician of the Russian Academy of Sciences,  
Chair «Theoretical Mechanics»,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Chair,  
phone +7 (863) 245-49-29,  
e-mail: kvi@rgups.ru

The effect of different metallic fillers on thermal characteristics of metallopolymers has been investigated. It is shown that the fillers do not reduce the heat resistance of phenylone and improve the thermal coefficients of linear expansion, coefficients thermal conductivity and thermal diffusivity. Correlation between thermal properties and structural changes at the molecular level is detected.

*Keywords:* aromatic polyamide, metallopolymers, thermal charecteristic.

**УДК 539.3****КОНТАКТ УПРУГИХ ТЕЛ В УСЛОВИЯХ ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ  
ПРИ НАЛИЧИИ ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ****Горячева Ирина Георгиевна**

Институт проблем механики РАН им. А.Ю. Ишлинского,  
119526, Москва, проспект Вернадского, д. 101, к. 1,  
лаборатория трибологии,  
академик РАН,  
доктор физико-математических наук, заведующая лабораторией,  
главный научный сотрудник,  
телефон +7 (495) 434-36-92,  
e-mail: goryache@ipmnet.ru

Изложены постановки и методы решения контактных задач о качении с проскальзыванием твердых и деформируемых тел при наличии между ними тонкого вязкоупругого слоя, моделирующего влияние промежуточной среды на характер взаимодействия. Результаты используются для анализа зависимости величины силы сопротивления перекатыванию от свойств этого слоя, а также от коэффициента трения скольжения между слоем и катящимся по нему телом.

*Ключевые слова:* вязкоупругий слой, относительное проскальзывание, трение качения, коэффициент сцепления.

**CONTACT OF ELASTIC BODIES IN FRICTION OF SWING CONDITIONS  
IN INTERMEDIATE LAYER EXISTENCE****Goryacheva Irina Georgiyevna**

Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences named A.Yu Ishlinskii,  
101, r. 1, Vernadsky av., Moscow, 119526, Russia,  
Laboratory of the Tribology,  
Academician of the Russian Academy of Sciences,  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Laboratory,  
Chief Researcher,  
phone +7 (495) 434-36-92,  
e-mail: goryache@ipmnet.ru

Statements and methods of the solution of contact tasks on swing with slipping of solid and deformable bodies in the existence between them the thin viscoelastic layer modeling influence of the intermediate environment on the nature of interaction are formulated. The obtained results are used for the analysis of dependence of power force resistance level to rolling on properties of this layer, and also from sliding friction coefficient between a layer and the body sliding on it.

*Keywords:* viscoelastic layer, relative slipping, swing friction, coupling coefficient.

**УДК 620.22 : 621.891**

**РАЗВИТИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ Н.А. БУШЕ.  
К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ**

**Захаров Сергей Михайлович**

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта,  
129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10,  
Отделение «Транспортное материаловедение»,  
доктор технических наук, профессор,  
e-mail: zakharovsm@vniizht.ru

**Гершман Иосиф Сергеевич**

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта,  
Отдел научно-исследовательских программ, грантов и проектов,  
доктор технических наук,  
e-mail: isgershman@gmail.com

**Миронов Александр Евгеньевич**

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта,  
Отдел научно-исследовательских программ, грантов и проектов,  
кандидат технических наук,  
e-mail: isgershman@gmail.com

Изложены направления и основные результаты исследований в области трибологического материаловедения, проведенные Николаем Александровичем Буше и его лабораторией цветных металлов и трибологии.

*Ключевые слова:* антифрикционные сплавы, трибология, совместимость трибосистем, самоорганизация.

**DEVELOPMENT OF TRIBOLOGICAL MATERIAL SCIENCE BY N.A. BUSHE.  
TO 100<sup>th</sup> ANNIVERSARY**

**Zakharov Sergey Mikhaylovich**

Railway Research Institute,  
10, 3d Mytishchinskaya st., Moscow, 129626, Russia,  
Department «Transport Material Science»,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
e-mail: zakharovsm@vniizht.ru

**Gershman Josef Sergeyevich**

Railway Research Institute,  
Department «Scientific Research Programs, Grants and Projects»,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
e-mail: isgershman@gmail.com

**Mironov Alexander Evgenyevich**

Railway Research Institute,  
Department «Scientific Research Programs, Grants and Projects»,  
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
e-mail: isgershman@gmail.com

The main directions and results of studies in the field of tribology material science performed by N. Bushe and his laboratory of nonferrous materials and tribology are presented.

*Keywords:* antifrictional alloys, tribology, compatibility of tribosystems, selforganization.

УДК 539.3/ 6

## ОБЛАСТИ И ВИДЫ ТЕРМОУПРУГОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ СКОЛЬЗЯЩЕГО КОНТАКТА ПРИ ИЗНОСЕ

**Зеленцов Владимир Борисович**

Донской государственный технический университет (ДГТУ),  
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1,  
Научно-образовательный центр «Материалы»,  
кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник,  
руководитель ресурсного центра коллективного пользования,  
телефон +7 (863) 273-86-34,  
e-mail: vbzelen@gmail.com

**Митрин Борис Игоревич**

Донской государственный технический университет (ДГТУ),  
Научно-образовательный центр «Материалы»,  
кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник,  
телефон +7 (863) 273-86-34,  
e-mail: bmitrin@dstu.edu.ru

**Лубягин Игорь Анатольевич**

Донской государственный технический университет (ДГТУ),  
Научно-образовательный центр «Материалы»,  
техник,  
телефон +7 (863) 273-86-34,  
e-mail: hammavet@gmail.com

Для исследования влияния износа и разогрева от трения на возможность возникновения термоупругой неустойчивости скользящего контакта рассматривается начально-краевая квазистатическая задача о скольжении жёсткого тела в виде полуплоскости по поверхности упругого покрытия конечной толщины, сцепленного с недеформируемым основанием. Скольжение жёсткого тела сопровождается износом покрытия и его разогревом от трения. Для решения задачи используется преобразование Лапласа, с помощью которого решение задачи представляется в виде квадратур обратного преобразования Лапласа, а после изучения свойств подынтегральных функций – в виде рядов по собственным числам задачи, совпадающих с полюсами подынтегральных функций. Расположение полюсов в комплексной плоскости интегрирования изучается с помощью численных методов в зависимости от трех безразмерных параметров задачи, что позволяет выделить границы областей устойчивых и неустойчивых решений в пространстве безразмерных параметров. Подробно исследуются температура и напряжения на контакте в зависимости от параметров задачи как в области устойчивых, так и в области неустойчивых решений.

*Ключевые слова:* износ, фрикционный разогрев, трение, скольжение, контакт, термоупругая неустойчивость.

## DOMAINS AND MODES OF THERMOELASTIC INSTABILITY OF SLIDING CONTACT UNDER WEARING CONDITIONS

**Zelentsov Vladimir Borisovich**

Don State Technical University (DSTU),  
1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000, Russia,  
Research and Educational Center «Materials»,  
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher,  
Head of Center for Joint Use of Scientific Equipment,  
phone +7 (863) 273-86-34,  
e-mail: vbzelen@gmail.com

**Mitrin Boris Igorevich**

Don State Technical University (DSTU),  
Research and Educational Center «Materials»,  
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Junior Researcher,  
phone +7-961-290-62-00,  
e-mail: bmitrin@dstu.edu.ru

**Lubyagin Igor Anatolyevich**

Don State Technical University (DSTU),  
Research and Educational Center «Materials»,  
Technician,  
phone +7 (863) 273-86-34,  
e-mail: hammavet@gmail.com

To study influence of wearing and frictional heating on possible development of thermoelastic instability of sliding contact, the initial boundary value problem was considered as follows. A rigid body, represented by a half-plane, is sliding over the surface of an elastic coating with finite thickness, which is bonded to underformable substrate. Sliding is accompanied by wear coating and its frictional heating. To solve the problem, the Laplace integral transform was used, which helped to represent the solution in form of contour integrals of the inverse Laplace transformation. After analysis of integrand functions properties, the solution was represented as a series over eigenvalues of the problem, which coincide with poles of integrands. Disposition of poles in an integration complex plane and its dependence three dimensionless parameters of the problem were studied with the aid of numerical methods. Based on results, boundaries of stable and unstable solutions was determined in the dimensionless parameters space. Contact temperature and stresses were thoroughly studied in dependence problem parameters, both in stable and unstable solutions` domain.

*Keywords:* wearing, frictional heating, friction, sliding, contact, thermoelastic instability.

УДК 544.18 : 544.723 : 531.4 + 06

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ ПРИСАДОК К СМАЗОЧНЫМ МАТЕРИАЛАМ****Майба Игорь Альбертович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2,  
кафедра «Транспортные машины и триботехника»,  
доктор технических наук, профессор,  
телефон +7 (863) 272-65-90,  
e-mail: mia@rgups.ru

**Мигаль Юрий Федорович**

Южный научный центр РАН,  
344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, д. 41,  
лаборатория транспорта и новых композиционных материалов,  
главный научный сотрудник.

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Химия»,  
доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой,  
телефон +7 (863) 272-62-72,  
e-mail: ymigal@mail.ru

**Бекетов Анатолий Сергеевич**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Транспортные машины и триботехника»,  
магистрант,  
e-mail: beketov-anatoly23@yandex.ru

**Савенкова Мария Андреевна**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Химия»,  
кандидат химических наук, доцент,  
телефон +7 (863) 272-62-72,  
e-mail: him@rgups.ru

Проведено квантовохимическое исследование взаимодействия силикатных и фосфатных присадок с поверхностью железа. Использованы метод DFT и модель пластины. Показано, что при высоких концентрациях присадок их совместное действие не сводится к сумме действий каждой из них. Этот вывод согласуется с результатами экспериментальных исследований.

*Ключевые слова:* смазочные материалы, граничное трение, химическая связь, компьютерное моделирование.

**COMPUTER MODELLING AND FORECASTING OF PROPERTIES OF ADDITIVES` SYSTEM TO LUBRICANTS****Maiba Igor Albertovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia,  
Chair «Transport Machines and Tribotechnics»,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
phone +7 (863) 272-65-90,  
e-mail: mia@rgups.ru

**Migal Yuri Fedorovich**

Southern Scientific Centre of Russian Academy of Sciences,  
41, Chekhov av., Rostov-on-Don, 344006, Russia,  
Laboratory «Transport And New Compositional Materials»,  
Chief Researcher,

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Chemistry»,  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Chair,  
phone +7 (863) 272-62-72,  
e-mail: ymigal@mail.ru

**Beketov Anatoly Sergeyeovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Transport Machines and Tribotechnics»,  
Undergraduate,  
e-mail: beketov-anatoly23@yandex.ru

**Savenkova Maria Andreyevna**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Chemistry»,  
Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor,  
phone +7 (863) 272-62-72,  
e-mail: him@rgups.ru

The quantum-chemical study of the interaction of silicate and phosphate additives with iron surface is carried out. The DFT method and a slab model are used. It is shown that in the case of high concentrations of the additives their combined action is not reduced the sum of the actions of each of them. This conclusion is consistent with results of experimental studies.

*Keywords:* lubricants, boundary friction, chemical bond, computer modelling.

УДК 621.891 + 539.18

## ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ПАР ТРЕНИЯ

**Пашаев Ариф Мир Джалал оглы**

Азербайджанская Национальная Академия Авиации,  
Азербайджанская Республика, г. Баку, AZ1045, поселок Бина, 25-й км,  
ректор, академик,  
доктор физико-математических наук, профессор,  
телефон (994-12)-598-24-52.

**Джанахмедов Ахад Ханахмед оглы**

Азербайджанская Национальная Академия Авиации,  
академик,  
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой,  
телефон (994-12) 598-24-52,  
e-mail: dzhanakhmedov@yahoo.com

В работе приводятся результаты исследований по определению напряженно-деформированного состояния поверхностных слоев элементов трения пары «полимер – металл», позволяющего объективно судить о градиенте механических свойств их материалов. Определяются темпы нагрева и охлаждения металлических элементов трения, влияющих на реполяризацию микровыступов их рабочих поверхностей, и выявляется ее влияние на величину динамического коэффициента трения.

*Ключевые слова:* трибология, металл – полимер, поверхностный слой, динамический коэффициент трения, полимерная накладка, темп охлаждения.

## TRIBOLOGICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF METAL PAIR FRICTION

**Pashayev Arif Mir Jalal**

Azerbaijan National Aviation Academy,  
Republic of Azerbaijan, Baku, AZ1045, Bina settlement, 25-th km,  
Rector, Academician,  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,  
phone (994-12) -598-24-52.

**Janahmadov Ahad Khanahmad**

Azerbaijan National Aviation Academy,  
Academician,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Chair,  
phone (994-12) 598-24-52,  
e-mail: dzhanakhmedov@yahoo.com

The paper presents the results of studies to determine the stress-strain state of the surface layers of the elements of friction pairs «polymer – metal», which allows an objective judgment about the gradient of mechanical properties of materials. The rate of heating and cooling the metal elements of friction affecting the repolarization microelevation on their working surfaces, and revealed its effect on the value of the dynamic coefficient of friction was determined.

*Keywords:* tribology, metal – polymer surface layer, the dynamic coefficient of friction, polymer overlay, the rate of cooling.

УДК 625.032.3 : 681.3.06 + 06

## ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА ФРИКЦИОННЫХ СИСТЕМ С УЧЁТОМ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

**Шаповалов Владимир Владимирович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2,  
кафедра «Транспортные машины и триботехника»,  
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой,  
телефон +7 (863) 272-62-43,  
e-mail: tmt@rgups.ru

**Озябкин Андрей Львович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Транспортные машины и триботехника»,  
доктор технических наук, доцент,  
телефон +7 (863) 272-64-33,  
e-mail: ozyabkin@mail.ru

**Колесников Игорь Владимирович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
Научно-исследовательский центр «Нанотехнологии и трибосистемы»,  
научная лаборатория «Нанотехнологии и новые материалы»,  
кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией,  
телефон +7 (863) 245-49-29,  
e-mail: oooedt@rambler.ru

**Харламов Павел Викторович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Транспортные машины и триботехника»,  
кандидат технических наук, доцент,  
телефон +7 (863) 272-64-33,  
e-mail: kcharlamov@yandex.ru

С привлечением теоретических основ Ф.П. Боудена и Д. Тейбора, методик динамического мониторинга процессов трения, экспериментальной термодинамики и акустической эмиссии показана возможность с учётом синергетического подхода исследования на моделях процессов трения, протекающих во фрикционном контакте «колесо подвижного состава – тормозная колодка», а также предотвращения возможных термopовреждений поверхностей трения.

*Ключевые слова:* синергетика, комплексный коэффициент передачи фрикционного звена, амплитудные фазовые частотные характеристики, интегральные оценки, октавный анализ, шероховатость, активный объём поверхности трения, логарифмический декремент затухания, температура вспышки.

## BASICS OF MODELLING AND MONITORING OF THE FRICTION SYSTEMS BASED ON SYNERGISTIC APPROACH

**Shapovalov Vladimir Vladimirovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
2, Rostovskogo Strrelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia,  
Chair «Transport Vehicles and Triboengineering»,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Chair,  
phone +7 (863) 272-62-43,  
e-mail: tmt@rgups.ru

**Ozyabkin Andrei Lvovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Transport Vehicles and Triboengineering»,  
Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor,  
phone +7 (863) 272-64-33,  
e-mail: ozyabkin@mail.ru

**Kolesnikov Igor Vladimirovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Research Center «Nanotechnology and the Tribosystem»,  
Head of Scientific Laboratory «Nanotechnology and New Materials»,  
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
phone +7 (863) 245-49-29,  
e-mail: kvi@rgups.ru

**Kharlamov Pavel Viktorovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Transport Vehicles and Triboengineering»,  
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
phone +7 (863) 272-64-33,  
e-mail: kcharlamov@yandex.ru

With involvement of the theoretical foundations F. P. Bowden and D. Tabor, methods of dynamic monitoring of friction processes, experimental thermodynamics and acoustic emission, the possibility of taking into account the synergetic approach of research on models of friction processes occurring in friction contact "wheel for rolling stock brake shoes," and also to prevent possible thermal damage to friction surfaces is shown.

*Keywords:* synergetics, transfer function of the friction link, the amplitude-phase frequency characteristics, integrated assessment, octave analysis, the roughness, active volume surface friction, logarithmic decrement of attenuation, the temperature of the flash.

УДК 539.621 + 621.891

**РЕЗУЛЬТАТЫ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЯ  
«ШАР – СЕДЛО»****Шустер Лева Шмульевич**

Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ),  
450004, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Карла Маркса, д. 12,  
кафедра «Основы конструирования механизмов и машин»,  
доктор технических наук, профессор,  
телефон +7 (347) 273-07-34,  
e-mail: ОКМиМ@ugatu.ac.ru

**Камалетдинова Регина Рамилевна**

Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ),  
кафедра «Основы конструирования механизмов и машин»,  
ассистент,  
телефон +7 (347) 273-07-34, +7-919-140-14-95,  
e-mail: regisha07.90@mail.ru

Представлена методика и результаты стендовых испытаний на трение реальной пары шара и седла, выполненных из керамики-металлического материала TiC-ЖС6У. Результаты стендовых испытаний сопоставлены с данными лабораторных исследований.

*Ключевые слова:* прочность адгезионной связи на срез, молекулярная составляющая коэффициента трения, керамика-металлический материал, триботехнические характеристики.

**RESULTS OF BENCH TESTING TRIBOCONTACT «BALL – SEAT»****Schuster Leva Shmulyevich**

Ufa State Aviation Technical University (USATU),  
12, Karl Marks str., Ufa, 450004, Republic Bashkortostan,  
Chair «Fundamentals of Design of Mechanisms and Machines»,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
phone +7 (347) 273-07-34,  
e-mail: ОКМиМ@ugatu.ac.ru

**Kamaletdinova Regina Ramilevna**

Ufa State Aviation Technical University (USATU),  
Chair «Fundamentals of Design of Mechanisms and Machines»,  
Lecturer,  
phone +7 (347) 273-07-34, +7-919-140-14-95,  
e-mail: regisha07.90@mail.ru

The technique and results of bench testing on a real pair of friction ball and seat, made of ceramic-metallic material of TiC-ZhS6U are given. The results of bench testing were compared with laboratory studies data.

*Keywords:* adhesive bond shear strength, molecular component of the friction coefficient, ceramic-metallic material, tribological characteristics.

**УДК 629.45/ 46**

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ВЫХОДА ШТОКА ДЛЯ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ С РАЗДЕЛЬНЫМ ТОРМОЖЕНИЕМ****Синицын Владимир Владимирович**

Управляющая компания «Брянский машиностроительный завод» (УК «БМЗ»),  
241015, г. Брянск, ул. Ульянова, д. 26,  
ведущий инженер-конструктор ОКВ ИЦ,  
кандидат технических наук,  
телефон +7 (4832) 36-00-69, +7-905-188-35-31,  
e-mail: universalmasch@yandex.ru

**Кобищанов Владимир Владимирович**

Брянский государственный технический университет (БГТУ),  
241035, г. Брянск, Бульвар 50-летия Октября, д. 7,  
кафедра «Подвижной состав железных дорог»,  
доктор технических наук, профессор,  
телефон +7 (4832) 56-04-66,  
e-mail: wagon@tu-bryansk.ru

Обоснована проблема нормирования выхода штока в тормозных системах грузовых четырехосных вагонов с раздельным потележечным приводом. Определены ограничения для тормозных систем, позволяющие найти предельные значения выхода штока. Получены теоретически обоснованные пределы выхода штока для грузовых вагонов с раздельным торможением. Предложены изменения в нормативную документацию ОАО «РЖД».

*Ключевые слова:* рычажная передача, упругая составляющая выхода штока, передаточное отношение, нормирование, методика, предельные значения, средний зазор.

**THEORETICAL DETERMINATION OF THE LIMIT VALUES OF THE OUTPUT ROD OF THE BRAKING SYSTEMS OF FREIGHT CARS WITH SEPARATE BRAKE****Sinitsyn Vladimir Vladimirovich**

Management Company «Bryansk Engineering Plant» (MC «BMP»),  
26, Uyanova st., Brjansk, 241015, Russia,  
Leading Engineer-Designer of the OKW IC,  
Candidate of Engineering Sciences,  
phone +7 (4832) 36-00-69, +7-905-188-35-31,  
e-mail: universalmasch@yandex.ru

**Kobishchanov Vladimir Vladimirovich**

Bryansk State Technical University (BSTU),  
7, Boulevard 50 years of October, Bryansk, 241035, Russia,  
Chair «Railway Rolling Stock»,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
phone +7 (4832) 56-04-66,  
e-mail: wagon@tu-bryansk.ru

The article justifies the problem of normalization of the output rod in the brake system four-axle freight wagons with independent bogie drive. The limitations for braking systems that allows you to find the limit value of the output stock are determined. The theoretically grounded output limits of the stock for freight cars with separate brake are obtained. The changes to regulatory documents of JSC «RZD» are proposed.

*Keywords:* leverage, the elastic component of the output rod, gear ratio, regulation, methods, limit values, average gap.

**УДК 681.518.5 : 004.052.32**

### **О ВЫБОРЕ МОДУЛЬНОГО КОДА С СУММИРОВАНИЕМ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ ЛОГИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ С УЧЕТОМ ЭКСПЕРИМЕНТА**

**Ефанов Дмитрий Викторович**

Петербургский государственный университет путей сообщения (ПГУПС),  
190031, г. Санкт-Петербург, пр. Московский, д. 9,  
кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»,  
кандидат технических наук, доцент,  
телефон +7 (812) 457-85-79, 58-579 (ж.-д),  
e-mail: TrES-4b@yandex.ru

**Блюдов Антон Александрович**

Петербургский государственный университет путей сообщения (ПГУПС),  
кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»,  
кандидат технических наук, доцент,  
телефон +7 (812) 457-85-79, 58-579 (ж.-д),  
e-mail: anton.blyudov@gmail.com

**Дмитриев Вячеслав Владимирович**

Петербургский государственный университет путей сообщения (ПГУПС),  
кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»,  
ассистент  
телефон +7 (812) 457-85-79, 58-579 (ж.-д),  
e-mail: d2c.tool@gmail.com

При построении систем функционального контроля часто используются классические и модульные коды с суммированием, имеющие различные характеристики по обнаружению ошибок на выходах логических схем. В статье описывается методика постановки экспериментов с набором контрольных примеров, позволяющая дать практическую оценку различных способов построения систем функционального контроля. Данная работа дополняет теорию функционального контроля дискретных систем по кодам с суммированием практическими результатами.

*Ключевые слова:* техническая диагностика, функциональный контроль, код Бергера, модульный код с суммированием, информационный вектор, необнаруживаемая ошибка, моделирование, симуляция одиночных неисправностей.

### **ON THE CHOICE OF MODULO CODE VARIETY FOR LOGICAL DEVICE TEST ORGANIZATION CONSIDERING EXPERIMENT RESULTS**

**Efanov Dmitriy Viktorovich**

Petersburg State Transport University (PSTU),  
9, Moscovsky av., St. Petersburg, 190031, Russia,  
Chair «Automation and Remote Control on Railways»,  
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
phone +7 (812) 457-85-79, 58-579 (railways),  
e-mail: TrES-4b@yandex.ru

**Bliudov Anton Alexandrovich**

Petersburg State Transport University (PSTU)  
Chair «Automation and Remote Control on Railways»,  
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
phone +7 (812) 457-85-79, 58-579 (railways),  
e-mail: anton.blyudov@gmail.com

**Dmitriev Vyacheslav Vladimirovich**

Petersburg State Transport University (PSTU)  
Chair «Automation and Remote Control on Railways»,  
Lecturer,  
phone +7 (812) 457-85-79, 58-579 (railways),  
e-mail: d2c.tool@gmail.com

Classic and module codes with summation that have different characteristics for detection of errors on logic devices outputs are often used in concurrent error detection systems formation. This paper describes the method of experiment organization using the complex of benchmarks that allow to make the practical evaluation of different ways of concurrent error detection system formation. This work supplies the theory of digital systems concurrent error detection using codes with summation with practical results.

*Keywords:* technical diagnostics, concurrent error detection, Berger code, module code with summation, data vector, undetectable error, simulation, single fault simulation.

**УДК 658.7 : 656.07**

**СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ****Козлов Петр Алексеевич**

Научно-технический холдинг «СТРАТЕГ»,  
109029, г. Москва, ул. Нижегородская, д. 32, стр. 15,  
президент холдинга,  
доктор технических наук, профессор,  
телефон +7-985-969-77-04,  
e-mail: laureat\_k@mail.ru

**Колокольников Виталий Сергеевич**

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),  
620034, Россия, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66,  
кандидат технических наук, доцент, докторант,  
телефон +7-908-914-59-25,  
e-mail: kolokvital@gmail.com

**Тушин Николай Андреевич**

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС)  
620034, Россия, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66,  
доктор технических наук, профессор,  
телефон +7 (912) 281-98-87,  
e-mail: ntushin@zde.ru

Железнодорожные станции рассматриваются обычно либо со структурной, либо с технологической точки зрения. Наиболее трудно описываемые подразделения станций – горловины – рассматриваются упрощенно-структурно. В существующих методиках расчета горловину представляет одна, наиболее загруженная, стрелка. В статье показывается некорректность и ограниченность такого подхода и формулируется новый, структурно-функциональный. Минимальным элементом горловины здесь является «виртуальный канал», элемент, который в отличие от стрелки имеет функциональное значение. Предлагается технология определения различных параметров горловины и взаимодействия ее с парком.

*Ключевые слова:* горловина, парк, виртуальный канал, пропускная способность, структура, функция, задержка.

**STRUCTURAL AND FUNCTIONAL STUDIES  
OF RAILWAY STATIONS****Kozlov Peter Alekseyevich**

Research and Production Holding «Strateg»,  
208 of, 32/15 byil., Nizhegorodskaya str., Moscow, 109029, Russia,  
President of the Holding,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
phone +7-985-969-77-04,  
e-mail: laureat\_k@mail.ru

**Kolokolnikov Vitaly Sergeevich**

Ural State University of Railway Transport,  
66, Kolmogorov st., Yekaterinburg, 620034, Russia,  
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
phone +7-908-914-59-25,  
e-mail: kolokvital@gmail.com

**Tushin Nikolay Andreyevich**

Ural State University of Railway Transport,  
66, Kolmogorov st., Yekaterinburg, 620034, Russia,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
phone +7 (912) 281-98-87,  
e-mail: ntushin@zde.ru

The railway stations are usually considered either with structural or from the technological point of view. The most difficult described divisions of stations – mouths – are considered simply and structurally. In the existing calculation procedures the one most loaded mouth represents the shooter. In article the incorrectness and limitation of such approach are shown and it is formulated the new structurally functional approach. The minimum element of a mouth is here «virtual channel», an element which unlike an arrow has functional value. The technology of determination of various parameters of a mouth and its interaction with the park is offered.

*Keywords:* mouth, park, virtual channel, throughput capability, structure, function, delay.

**УДК 624 + 06**

**КОНСТРУКЦИОННЫЕ ФИБРОБЕТОНЫ СО СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ  
СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРОЙ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ****Богатина Алла Юрьевна**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2,  
кафедра «Изыскания, проектирование и строительство железных дорог»,  
кандидат технических наук, доцент,  
телефон +7 (863) 272-62-19,  
e-mail: ips@rgups.ru

**Моргун Любовь Васильевна**

Доской государственный технический университет (ДГТУ),  
344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, д. 162,  
кафедра «Строительные материалы»,  
доктор технических наук, профессор,  
телефон +7-928-762-2802.

**Моргун Владимир Николаевич**

Академия архитектуры и искусств Южного федерального университета,  
344000, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42,  
кафедра «Инженерные дисциплины»,  
кандидат технических наук, доцент,  
телефон +7-906-452-8211.

Проанализированы свойства дисперсно армированных бетонов. Из выполненного анализа следует, что конструкционные фибропенобетоны могут быть эффективно применены для изготовления некоторых видов изгибаемых строительных конструкций. Приведены результаты экспериментальных исследований сцепления металлической и стеклопластиковой стержневой арматур с пено- и фибропенобетоном.

*Ключевые слова:* фибропенобетон, сцепление, композитная стержневая арматура.

## **CLUTCH CONSTRUCTION OF FIBER FOAM CONCRETE WITH FIBERGLASS ROD REINFORCEMENT IN TRANSPORT ENGINEERING**

### **Bogatina Alla Yuryevga**

Rostov State Transport University (RSTU),  
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia,  
Chair «Survey, Engineering and Railroad Construction»,  
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
phone +7-989-716-66-25,  
e-mail: ips@rgups.ru

### **Morgun Lubov Vasilyevna**

Don State Technical University (DSTU),  
162, Sotsialisticheskaya st., Rostov-on-Don, 344022, Russia,  
Chair «Building Materials»,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
phone +7-928-762-2802.

### **Morgun Vladimir Nikolayevich**

Rostov Academy of Architecture and Arts,  
Southern Federal University (RAA SFU)  
105/42, Bolshaya Sadovaya st., Rostov-on-Don, 344000, Russia,  
Chair «Engineering Disciplines»,  
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
phone +7-906-452-8211.

From the analysis of the properties of concrete, it follows that structural fibropenobetona can be effectively used for manufacturing some types of flexible building structures. The results of experimental studies of adhesion of metal and fiberglass rod armatures with foam and fiber foam concrete are proposed.

*Keywords:* fiberfoamconcrete, grip, composite bar reinforcement.

## **УДК 625.1**

## **ОБ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ**

### **Ермаков Вячеслав Михайлович**

Акционерное общество «Транспутьстрой»,  
107078, г. Москва, Орликов пер., д. 5, стр. 2,  
главный инженер, доктор технических наук,  
телефон +7-985-960-08-49,  
e-mail: ermakovvm@yandex.ru

### **Ермаков Евгений Вячеславович**

Акционерное общество «Транспутьстрой»,  
начальник отдела,  
телефон +7-903-596-55-75,  
e-mail: e.ermakov@transputstroy.ru

### **Егоров Маркел Александрович**

Московско-Окружная дистанция инфраструктуры  
Московской Дирекции инфраструктуры,  
125438, г. Москва, Михалковская ул., д. 59/5,  
дорожный мастер,  
телефон +7-926-185-72-13,  
e-mail: markel.aleksandrocich@yandex.ru

**Суворова Татьяна Виссарионовна**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
344006, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2,  
кафедра «Высшая математика»,  
доктор физико-математических наук, профессор,  
телефон +7 (863) 272-63-30,  
e-mail: suvorova\_tv111@mail.ru

Рассмотрены вопросы оптимизации сроков по осмотрам и промерам контролируемых параметров на стрелочном переводе, применения автоматизированных средств контроля и анализа результатов измерений на стрелочных переводах (электронные шаблоны с МРМ КСПД ИЖТ) с геопривязкой проводимых измерений к цифровым моделям пути (ЦМП) в высокоточной системе координат (ВКС) и автоматизированной передачей их результатов в базу данных Комплексной системы пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта (КСПД ИЖТ).

*Ключевые слова:* высокоточная координатная система (ВКС), комплексная система пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта (КСПД ИЖТ), оптимизация периодичности промеров на стрелочных переводах.

**OPTIMIZATION OF CONTROL SYSTEM SETTINGS TURNOUT****Ermakov Vyacheslav Mikhailovich**

Joint Stock Company «Transputstroy»,  
2, Building, 5, Orlikov Lane, Moscow, 107078, Russia,  
Chief Engineer,  
Doctor of Engineering Sciences,  
phone +7-985-960-08-49,  
e-mail: ermakovvm@yandex.ru

**Ermakov Yevgeny Vyacheslavovich**

Joint Stock Company «Transputstroy»,  
Head of Department,  
phone +7 (903) 596-55-75,  
e-mail: e.ermakov@transputstroy.ru

**Egorov Markel Alexandrovich**

Moscow-District Infrastructure distance  
Moscow Directorate of infrastructure,  
59/5, Mikhalkovskaya str., Moscow, 125438, Russia,  
Road Master,  
phone +7-926-185-72-13,  
e-mail: markel.aleksandrocich@yandex.ru

**Suvorova Tatiana Vissarionovna**

Rostov State Transport University (RSTU),  
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia,  
Chair «Higher Mathematics»,  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,  
phone +7 (863) 272-63-30,  
e-mail: suvorova\_tv111@mail.ru

The problems of optimization of terms for inspection and measurements of controlled parameters on the turnouts, the use of automated means of monitoring and analyzing the results of measurements diverters (electronic templates MRM KSPD IGT) georeferenced the measurements to digital models of the way (CIP) in a high-precision coordinate system (VCS) and automated transmission of the results to the database of the Integrated system of spatial data rail infrastructure (STAP IGT) are considered.

*Keywords:* high-precision coordinate system (VCS), comprehensive system of spatial data rail infrastructure (STAP IGT), optimization of the frequency measurements diverters.

УДК 625.1 + 06

**ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕХОДНЫХ УЧАСТКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ СВЯЗУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ**

**Кругликов Александр Александрович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2,  
кафедра «Изыскания, проектирование и строительство железных дорог»,  
кандидат технических наук, доцент,  
телефон +7 (863) 272-62-19,  
e-mail: aleksan.kruglikov@yandex.ru

**Ермолов Яков Михайлович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Физика»,  
аспирант,  
телефон +7 (863) 272-63-52,  
e-mail: cpd@rgups.ru

**Морозов Андрей Владимирович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Физика»,  
кандидат технических наук, доцент,  
телефон +7 (863) 272-63-52,  
e-mail: cpd@rgups.ru

**Нахимович Ирина Алексеевна**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Строительная механика»,  
кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой,  
телефон +7 (863) 272-65-88,  
e-mail: stroi\_meh@rgups.ru

**Явна Виктор Анатольевич**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Физика»,  
доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой,  
телефон +7 (863) 272-63-52,  
e-mail: vay@rgups.ru

В работе изложен технологический процесс организации переходных участков железнодорожного пути в местах примыкания к искусственному сооружению. В его основе лежит «омоноличивание» балластного материала неорганическими связующими на основе полиуретана.

Изучено изменение вибродинамических и деформационных характеристик балластного слоя железнодорожного пути в зависимости от степени его «омоноличивания» связующим материалом.

Показано, что контроль сплошности и глубины «омоноличивания» балластного материала можно выполнять методом георадиолокации.

*Ключевые слова:* железнодорожный путь, подвижной состав, балластная призма, полимерный связующий материал, георадиолокационные измерения, вибросейсмические измерения, модуль упругости, амплитудно-частотный анализ.

**CONSTRUCTION OF TRANSITION SEGMENTS OF RAILWAY TRACK WITH VARIABLE RIGIDITY ON THE BASIS OF POLYMER BINDING MATERIALS**

**Kruglikov Alexander Alexandrovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,  
Chair «Exploration, Design and Construction of Railroads»,  
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
phone +7 (863) 272-62-19,  
e-mail: aleksan.kruglikov@yandex.ru

**Ermolov Yakov Mikhailovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Physics»,  
Postgraduate,  
phone +7 (863) 272-63-52,  
e-mail: cpd@rgups.ru

**Morozov Andrei Vladimirovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Physics»,  
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
phone +7 (863) 272-63-52,  
e-mail: cpd@rgups.ru

**Nachimovich Irina Alekseyevna**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Head of Chair «Structural Mechanics»,  
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
phone +7 (863) 272-65-88,  
e-mail: stroi\_meh@rgups.ru

**Yavna Viktor Anatolyevich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Head of Chair «Physics»,  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,  
phone +7 (863) 272-63-52,  
e-mail: vay@rgups.ru

The work covers technological process of construction of transition segments of railway track in the junction to the engineering structure. The basis of it makes the ballast material monolith via inorganic binding substances based on polyurethane.

Changes of vibration dynamic and deformation characteristics of railway track ballast layer depending on the degree of making it monolith via binding substances are studied.

It is displayed that continuity and depth control of making the ballast material monolith can be carried out by method of ground penetration radar (GPR).

*Keywords:* railway track, rolling stock, ballast section, polymer binding substance, ground penetration measurement, vibration seismic measurement, modulus of elasticity, frequency-response analysis.

**УДК 519.6 : 539.3 + 06**

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИБРОЗАЩИТНЫХ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ****Ларин Александр Евгеньевич**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
344006, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2,  
кафедра «Высшая математика»,  
аспирант,  
телефон +7 (863) 272-63-30,  
e-mail: mc\_abdula@bk.ru

**Суворова Татьяна Виссарионовна**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Высшая математика»,  
доктор физико-математических наук, профессор,  
телефон +7 (863) 272-63-30,  
e-mail: suvorova\_tv111@mail.ru

**Ермаков Вячеслав Михайлович**

Акционерное общество «Транспутьстрой»,  
107078, Москва, Орликов пер., 5, стр. 2,  
главный инженер,  
доктор технических наук,  
телефон +7-985-960-08-49,  
e-mail: ermakovvm@yandex.ru

Эффект гашения вибрации при наличии выемки на поверхности среды изучался на основе модельной задачи о вязкоупругом полупространстве с прямоугольной выемкой на лицевой поверхности. В данной работе предлагается комбинированный численно-аналитический метод, включающий в себя расчёт конечной области методом конечных элементов, при задании граничных условий учитывалось влияние полубесконечной области на основе модельной задачи о полупространстве.

*Ключевые слова:* виброзащитные конструкции, вязкоупругое полупространство с выемкой на границе.

**ASSESSMENT OF EFFECTIVENESS OF VIBROPROTECTIVE NEAR-SURFACE DESIGNS****Larin Alexander Evgenyevich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia,  
Chair «Higher Mathematics»,  
Postgraduate,  
phone +7 (863) 272-63-30,  
e-mail: mc\_abdula@bk.ru

**Suvorova Tatiana Vissarionovna**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Higher Mathematics»,  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,  
phone +7 (863) 272-63-30,  
e-mail: suvorova\_tv111@mail.ru

**Ermakov Vyacheslav Mikhailovich**

Joint Stock Company «Transputstroy»,  
2 Building, 5, Orlikov Lane, Moscow, 107078, Russia,  
Chief Engineer,  
Doctor of Engineering Sciences,  
phone +7-985-960-08-49,  
e-mail: ermakovvm@yandex.ru

The increased oscillation effect in the presence of dredging on a surface was studied on the basis of a model problem about a viscoelastic half-space with rectangular dredging on the front face. In this work the combined numerical and analytical method including calculation of finite domain a finite element method is offered, at a problem of boundary conditions of semi-infinite area was considered by means of boundary conditions.

*Keywords:* vibroprotective designs, viscoelastic half-space with dredging on border.

**УДК 621.313.333.2**

**ПЕРВИЧНЫЙ ПРОДОЛЬНЫЙ КРАЕВОЙ ЭФФЕКТ В ОДНОСТОРОННЕМ ЛИНЕЙНОМ АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ С ПОПЕРЕЧНЫМ МАГНИТНЫМ ПОТОКОМ****Соломин Владимир Александрович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2,  
кафедра «Электрические машины и аппараты»,  
доктор технических наук, профессор,  
телефон +7 (863) 272-62-12,  
e-mail: ema@kaf.rgups.ru

**Соломин Андрей Владимирович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство»,  
кандидат технических наук, доцент,  
телефон +7 (863) 272-63-86,  
e-mail: vag@kaf.rgups.ru

**Замшина Лариса Леонидовна**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Электрические машины и аппараты»,  
кандидат технических наук, доцент,  
телефон +7 (863) 272-62-12,  
e-mail: ema@kaf.rgups.ru

**Быкадоров Александр Леонович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Автоматизированные системы электроснабжения»,  
доктор технических наук, профессор,  
телефон +7 (863) 272-63-85,  
e-mail: asel@kaf.rgups.ru

**Савин Глеб Александрович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Электрические машины и аппараты»,  
аспирант,  
телефон +7 (863) 272-62-12,  
e-mail: ema@kaf.rgups.ru

Представлены результаты исследования напряженности магнитного поля односердечникового линейного асинхронного двигателя с поперечным магнитным потоком. Получено общее выражение для определения напряженности магнитного поля в произвольной точке. Рассмотрены конкретные примеры, позволяющие сопоставить напряженности магнитного поля в поперечном и продольном направлениях и оценить влияние первичного продольного краевого эффекта.

*Ключевые слова:* линейный асинхронный двигатель, поперечный магнитный поток, первичный продольный краевой эффект, односердечниковый индуктор.

**PRIMARY LONGITUDINAL EDGES EFFECT IN UNILATERAL LINEAR INDUCTION MOTOR WITH TRANSVERSE MAGNETIC FLUX****Solomin Vladimir Alexandrovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia,  
Chair «Electric Mashines and Devices»,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
phone +7 (863) 272-62-12,  
e-mail: ema@kaf.rgups.ru

**Solomin Andrei Vladimirovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia,  
Chair «Cars and Cars Facilities»,  
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
phone +7 (863) 272-63-86,  
e-mail: vag@kaf.rgups.ru

**Zamshina Larisa Leonidovna**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Electric Mashines and Devices»,  
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
phone +7 (863) 272-62-12,  
e-mail: ema@kaf.rgups.ru

**Bykadorov Alexander Leonovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Automated Electricity System»,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
phone +7 (863) 272-63-85,  
e-mail: asel@kaf.rgups.ru

**Savin Gleb Alexandrovich**

Rostov State Transport University (RSTU)  
Chair «Electric Mashines and Devices»,  
Postgraduate,  
phone +7 (863) 272-62-12,  
e-mail: ema@kaf.rgups.ru

The results of the study of the magnetic field odnoserdechnikovogo linear induction motor with transverse flux are presented. A general expression for the magnetic field at any point is obtained. The concrete examples to compare the magnetic field strength in the transverse and longitudinal directions and evaluate the impact of primary longitudinal edge effect are considered.

*Keywords:* linear induction motor, transverse magnetic flux, primary longitudinal edge effect, odnoserdechnikovy inductor.

**УДК 539.3****МЕТОД БЛОЧНОГО ЭЛЕМЕНТА И ПОЛУБЕСКОНЕЧНЫЕ И КОНЕЧНЫЕ ДЕФЕКТЫ ПОКРЫТИЯ****Бабешко Владимир Андреевич**

Южный научный центр Российской академии наук (ЮНЦ РАН),  
344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Чехова, д. 41,  
заместитель председателя, академик РАН,  
доктор физико-математических наук, профессор,  
телефон +7-988-247-19-43,  
e-mail: babeshko41@mail.ru

**Евдокимова Ольга Владимировна**

Южный научный центр Российской академии наук,  
доктор физико-математических наук, доцент,  
главный научный сотрудник,  
телефон +7-928-203-49-88,  
e-mail: Evdokimova.Olga@mail.ru

**Уафа Самир Баширович**

Кубанский государственный университет (КубГУ),  
350044, г. Краснодар, ул. Ставропольская, д. 149,  
студент,  
телефон +7-918-160-68-22,  
e-mail: uafa70@mail.ru

**Бабешко Ольга Мефодиевна**

Кубанский государственный университет (КубГУ),  
доктор физико-математических наук, профессор,  
главный научный сотрудник,  
телефон +7-988-248-58-58,  
e-mail: babeshko41@mail.ru

**Федоренко Алексей Григорьевич**

Южный научный центр Российской академии наук (ЮНЦ РАН),  
доктор физико-математических наук, доцент,  
главный научный сотрудник,  
телефон +7-905-432-47-65,  
e-mail: afedorenko@mail.ru

Предложен метод блочного элемента для исследования материалов с полуограниченными и ограниченными дефектами в покрытиях. Полученное решение было доказано, содержит сингулярный член, который разрушит тело.

*Ключевые слова:* блочный элемент, факторизация, топология, методы интегральной и дифференциальной факторизации, внешние формы, блочные структуры, граничные задачи.

### **BLOCK ELEMENT METHOD AND SEMIINFINIT AND FINITE DEFECTS OF THE COVERINGS**

#### **Babeshko Vladimir Andreyevich**

Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences (SSC RAS),  
41, Chehova av., Rostov-on-Don, 344006, Russia,  
Vice-Chairman,  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician,  
phone +7-988-247-19-43,  
e-mail: babeshko41@mail.ru

#### **Evdokimova Olga Vladimirovna**

Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences (SSC RAS),  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,  
Chief Researcher,  
phone +7-928-203-49-88,  
e-mail: Evdokimova.Olga@mail.ru

#### **Uafa Samir Bashirovich**

Kuban State University (KubSU),  
149, Stavropolskaya st., Krasnodar, 350044, Russia,  
Graduate,  
phone +7-918-160-68-22,  
e-mail: uafa70@mail.ru

#### **Babeshko Olga Mefodiyevna**

Kuban State University (KubSU),  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,  
Chief Researcher,  
phone +7-988-248-58-58,  
e-mail: babeshko41@mail.ru

#### **Fedorenko Aleksey Grigoryevich**

Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences (SSC RAS),  
Chief Researcher,  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,  
phone +7-905-432-47-65,  
e-mail: afedorenko@mail.ru

The Block Element Method is used for study of the coverings with the semi-infinite and finite defects. The obtained solution proves the appearing singular term destroys the body.

*Keywords:* block element, factorization, topology, integral and differential factorization methods, exterior forms, block structures, boundary problems.

**УДК 531/534**

### **ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ВОССТАНОВЛЕНИЮ НЕОДНОРОДНЫХ СВОЙСТВ УПРУГОГО ОСНОВАНИЯ ПОД РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКОЙ**

#### **Ватульян Александр Ованесович**

Южный федеральный университет, Владикавказский научный центр РАН,  
344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 8а,  
Институт математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича (ИММиКН),  
кафедра «Теория упругости»,  
доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой,  
телефон +7-918-589-60-75,  
e-mail: vatulyan@math.rsu.ru

**Гукасян Лусинэ Суреновна**

Донской государственный технический университет (ДГТУ),  
344010, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1,  
кафедра «Прикладная математика»,  
старший преподаватель,  
телефон +7-903-434-00-14,  
e-mail: luska-90@list.ru

**Недин Ростислав Дмитриевич**

Южный федеральный университет, Владикавказский научный центр РАН,  
344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, д. 8а,  
Институт математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича (ИММиКН),  
кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник,  
телефон +7-904-501-53-31,  
e-mail: rdn90@bk.ru

В инженерной практике представляют большой интерес задачи моделирования и идентификации механических свойств грунтовых оснований, лежащих под фундаментными блоками зданий, а также различными строительными и инженерными сооружениями. В настоящей работе сформулировано дифференциальное уравнение в частных производных второго порядка с переменными коэффициентами, с помощью которого можно описывать деформирование грунтового основания с неоднородными коэффициентами постели под произвольной нагрузкой. Сформулирована и исследована обратная коэффициентная задача о реконструкции законов неоднородности коэффициентов постели грунта, лежащего под распределенной нагрузкой, на основе измеряемых данных на поверхности грунта. В качестве метода решения обратной задачи применен метод Галеркина. На основе результатов проведенных вычислительных экспериментов по реконструкции сделан вывод о работоспособности и эффективности предложенного метода.

*Ключевые слова:* обратная коэффициентная задача, идентификация, грунт, неоднородность, коэффициенты постели, дифференциальное уравнение в частных производных, метод Галеркина.

**ONE OF APPROACHES TO RESTOR NON-UNIFORM PROPERTIES OF ELASTIC BASIS UNDER DISTRIBUTED LOADING****Vatulyan Alexander Ovanesovich**

Southern Federal University, Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences,  
8a, Milchakov st. Rostov-on-Don, 344090, Russia,  
Institute of Mathematics, Mechanics and Computer Sciences of I.I. Vorovich,  
Chair «Theory of Elasticity»,  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Chair,  
phone +7-918-589-60-75,  
e-mail: vatulyan@math.rsu.ru

**Ghukasyan Lusine Surenovna**

Don State Technical University,  
1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344010, Russia,  
Chair «Applied Mathematics»,  
Senior Lecturer,  
phone +7-903-434-00-14,  
e-mail: luska-90@list.ru

**Nedin Rostislav Dmitriyevich**

Southern Federal University, Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences,  
8a, Milchakov st. Rostov-on-Don, 344090, Russia,  
Institute of Mathematics, Mechanics and Computer Sciences of I.I. Vorovich,  
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher,  
phone +7-904-501-53-31,  
e-mail: rdn90@bk.ru

In engineering practice tasks of modeling and identification of mechanical properties of the soil bases lying under base blocks of buildings, and also various construction and engineering constructions are of great interest. In this work the differential equation in private derivatives of the second order with variable coefficients by means of which it is possible to describe deformation of the soil basis with heterogeneous coefficients of a bed under any loading is formulated. The return coefficient task about reconstruction of laws of heterogeneity of coefficients of a bed of the soil lying under the distributed loading on the basis of

the measured data on the surface of soil is formulated and researched. As a method of the solution of the return task Galerkin's method is applied. On the basis of results of the made computing experiments on reconstruction the conclusion is drawn on working capacity and efficiency of the offered method.

*Keywords:* the return coefficient task, identification, soil, heterogeneity, bed coefficients, the differential equation in private derivatives, Galerkin's method.

**УДК 519.7 + 06**

### **МЕТОДЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ГРАНУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РЕДУКЦИИ УСЛОВНЫХ АТТРИБУТОВ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

**Бутакова Мария Александровна**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
344006, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного ополчения, д. 2,  
кафедра «Информатика»,  
доктор технических наук, профессор,  
телефон +7 (863) 272-65-43,  
e-mail: butakova@rgups.ru

**Иванченко Ольга Вадимовна**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Информатика»,  
аспирант,  
телефон +7 (863) 272-65-43,  
e-mail: iov\_rgups@mail.ru

Гранулярные вычисления – наиболее быстро развивающаяся парадигма для обработки информации в области вычислительного интеллекта. Нечеткие приближенные множества можно рассматривать как метод гранулярных вычислений. Гранулирование информации – довольно широкое понятие, включающее как четкий, так и нечеткий подходы. В статье предлагается новый метод гранулирования информации в нечетких системах поддержки принятия решений. Рассмотрены теоретические аспекты нечеткого гранулирования информации на основе нечетких отношений подобия. Представлены наиболее существенные определения и теоремы для нечетких отношений подобия и отношений эквивалентности. В соответствии с выдвинутыми утверждениями даны определения нижней и верхней аппроксимации нечеткого множества. Рассмотрены примеры, демонстрирующие новые подходы к установлению гранулярной структуры нечеткого множества.

Предложен метод редукции атрибутов в системах поддержки принятия решений на основе нечетких информационных гранул. Рассмотрены различные постановки задачи редукции атрибутов на основе нечетких отношений подобия между объектами эквивалентных классов. Определены условия существования ядра несократимых атрибутов. Описана структура редукции атрибутов в терминах нечетких гранулярных множеств. Рассмотрены условия существования относительной редукции атрибутов, структуры нижней и верхней аппроксимации.

Доказано утверждение о достаточных и необходимых условиях для существования относительной редукции атрибутов, описываемых нечеткими приближенными множествами. Охарактеризована структура редукции атрибутов с использованием информационных гранул. Приведен вычислительный пример редукции атрибутов с использованием нечетких информационных гранул на основе нечеткого отношения подобия.

*Ключевые слова:* редукция атрибутов, нечеткие отношения подобия, гранулярные нечеткие множества, нечеткие приближенные множества.

### **METHODS OF INFORMATION GRANULATION FOR THE SOLUTION OF TASKS OF THE REDUCTION OF CONDITIONAL ATTRIBUTES IN SYSTEMS OF DECISION SUPPORT**

**Butakova Maria Alexandrovna**

Rostov State Transport University (RSTU),  
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq. Rostov-on-Don, 344038, Russia,  
Chair «Informatics»,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
phone +7 (863) 272-65-43,  
e-mail: butakova@rgups.ru

**Ivanchenko Olga Vadimovna**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Informatics»,  
Postgraduate,  
phone +7 (863) 272-65-43,  
e-mail: iov\_rgups@mail.ru

The granular computing is the most rapidly growing paradigm of information processing in the field of computational intelligence. Fuzzy rough sets can be used as a method of granular computing. Information granularity is rather broad concept including both crisp and fuzzy approaches. The new method of information granulation in fuzzy decision support systems is proposed in this paper. Theoretical aspects of fuzzy information granularity based on fuzzy similarity relations information are considered. Important definitions and theorems are presented for fuzzy similarity relations and equivalence relation. Definitions of lower and upper approximations of fuzzy sets are given. The examples that demonstrate new approaches to establishment granular structure of fuzzy set are considered.

The method of attribute reduction based on fuzzy information granules in fuzzy decision support systems is proposed. Various formulations of problem based on attribute reduction of fuzzy similarity relations between objects of equivalent classes are considered. The conditions for the existence of indispensable core attributes are defined. The structure of attribute reduction in terms of fuzzy information granules is described. The conditions of existence relative reduction and structure of lower and upper approximations are considered. The statement of sufficient and necessary conditions for relative attribute reduction with fuzzy rough sets is proved. The structure of attribute reduction is characterized by information granules. The example is given to illustrate attribute reduction with fuzzy informational granules based on fuzzy relations.

*Keywords:* attribute reduction, fuzzy similarity relations, granular fuzzy sets, fuzzy rough sets.

**УДК 51 : 621. 891**

**РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ РАДИАЛЬНОГО ПОДШИПНИКА  
КОНЕЧНОЙ ДЛИНЫ С ПОРИСТЫМ СПЕЧЕННЫМ КОЛЬЦОМ ПЕРЕМЕННОЙ  
ТОЛЩИНЫ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ПОДАЧЕ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА****Колесников Игорь Владимирович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2,  
Научно-исследовательский центр «Нанотехнологии и трибосистемы»,  
научная лаборатория «Нанотехнологии и новые материалы»,  
кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией,  
телефон +7 (863) 245-49-29,  
e-mail: kvi@rgups.ru

**Эркенов Ахмат Чокаевич**

Карачаево-Черкесская государственная технологическая академия (КЧГТА),  
369000, Карачаево-Черкесская Республика, г. Черкесск, ул. Ставропольская, д. 36,  
кафедра «Технология машиностроения»,  
доктор технических наук, профессор,  
телефон +7-985-762-86-21,  
e-mail: ERKENOVA-888@bk.ru

**Бойко Николай Иванович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Эксплуатация и ремонт машин»,  
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой,  
телефон +7 (863) 272-64-29,  
e-mail: erm@kaf.rgups.ru

**Кручинина Екатерина Владимировна**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Высшая математика»,  
кандидат технических наук, доцент,  
телефон +7 (863) 272-62-63,  
e-mail: vm\_2@kaf.rgups.ru

**Мукутадзе Александр Мурманович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Высшая математика»,  
аспирант,  
телефон +7 (863) 272-62-63,  
e-mail: mykyt@yandex.ru

Представлено решение стационарной задачи о радиальном подшипнике скольжения конечной длины с пористой спеченной опорной втулкой переменной толщины. Решение задачи выполнялось на основе модифицированного уравнения Рейнольдса и уравнения Дарси, определяющих течение смазочного материала в пористой втулке. Комбинированная подача жидкого смазочного материала осуществляется как в осевом, так и в радиальном направлениях.

В результате решения поставленной задачи с применением разложения в ряд Тейлора, при учете авторами основных отличительных факторов от ранее решенных задач: относительный эксцентриситет ( $\tilde{\epsilon}$ ), пористая втулка переменной толщины, позволяющая регулировать в пределах эксцентриситета соосность подшипниковых опор и компенсировать неравномерный износ рабочих поверхностей, наименьшая толщина пористой втулки переменной толщины и т.д. – определено давление в рабочем смазочном слое и в пористой опорной втулке. Кроме того, определены усилия в слое жидкого смазочного материала при неполном и полном заполнении рабочего зазора подшипника смазочным материалом, несущая способность, обусловленная давлением в смазочном слое, а также область устойчивой работы подшипника. Проведен численный анализ полученных теоретических исследований с учетом дополнительных триботехнических параметров, влияющих на несущую способность подшипника при полном и неполном заполнении рабочего зазора смазочным материалом, соответствующем закономерностям гидродинамического трения, свидетельствующий об их адекватности и возможности применения в инженерной практике.

*Ключевые слова:* радиальный подшипник скольжения, пористая спеченная подшипниковая втулка переменной толщины, гидродинамика, триботехнические параметры, комбинированная подача жидкого смазочного материала.

**DEVELOPMENT OF COMPUTATIONAL MODELS OF THE RADIAL BEARING OF FINITE LENGTH WITH A POROUS SINTERED RING OF VARIABLE THICKNESS IN THE COMBINED FEED OF THE LUBRICANT****Kolesnikov Igor Vladimirovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
2, Rostovskogo Srelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia,  
Research Center «Nanotechnology and Tribosystem»,  
Scientific Laboratory «Nanotechnology and New Materials»,  
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
phone +7 (863) 245-49-29,  
e-mail: kvi@rgups.ru

**Erkenov Akhmat Chokaevich**

Karachay-Cherkess State Technological Academy (CCSTA),  
36, Stavropol st., Cherkessk, Karachay-Cherkess Republic, 369000, Russia,  
Chair «Technology of Mechanical Engineering»,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
phone +7-985-762-86-21,  
e-mail: ERKENOVA-888@bk.ru

**Boyko Nikolay Ivanovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Exploitation and Repair of Machines»,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Chair,  
phone +7 (863) 272-64-29,  
e-mail: erm@kaf.rgups.ru

**Kruchinina Ekaterina Vladimirovna**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Higher Mathematics»,  
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
phone +7 (863) 272-62-63,  
e-mail: vm\_2@kaf.rgups.ru

**Mukutadze Alexander Murmanovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Higher Mathematics»,  
Postgraduate,  
phone + 7 (863) 272-63-62,  
e-mail: mykyt@yandex.ru

A solution to the stationary problem of radial sliding bearing of finite length with sintered porous bearing sleeve of variable thickness is presented. The decision tasks were performed on the basis of the modified Reynolds equation and the equation of Darcy, which define a lubricant in a porous bushing. The combined flow of the liquid lubricant is carried out both in the axial and radial directions.

The solution of the tasks, applying the decomposition in a Taylor series, considering the authors of the main distinguishing factors from previously solved tasks: the relative eccentricity ( $\tilde{\epsilon}$ ), a porous sleeve of variable thickness, which allows to vary the eccentricity of the alignment of the bearings and to compensate for uneven wear of the working surfaces, the smallest thickness of the porous sleeve of variable thickness, etc. To determine the pressure in the working lubricating layer and a porous support sleeve. In addition, to determine the stress in the layer of liquid lubricant at the incomplete and the complete filling of the working gap of the bearing lubricant, load bearing capacity, due to the pressure in the lubricating layer, as well as the range of stable operation of the bearing. Numerical analysis of the obtained theoretical investigations taking into account additional tribological parameters that affect load bearing capacity under full and partial filling of the working gap of the lubricant, corresponding to the hydrodynamic friction laws, certifying their adequacy and application in engineering practice.

*Keywords:* radial bearing, the porous sintered bearing bushing of variable thickness, hydrodynamics, tribological parameters, the combined supply of liquid lubricant.

УДК 517.97

**ОБОБЩЕННЫЕ УРАВНЕНИЯ ЭЙЛЕРА – ЛАГРАНЖА В КРИВОЛИНЕЙНЫХ КООРДИНАТАХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ С ПОДВИЖНЫМИ ГРАНИЦАМИ****Корнаев Алексей Валерьевич**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева (ОГУ),  
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, д. 95,  
Научно-образовательный центр «Мехатроника и международный инжиниринг»,  
кандидат технических наук, доцент,  
старший научный сотрудник,  
телефон +7-953-478-15-91,  
e-mail: rusakor@inbox.ru

**Корнаева Елена Петровна**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева (ОГУ),  
кафедра «Информационные системы»,  
кандидат физико-математических наук, доцент,  
телефон +7-953-817-30-50,  
e-mail: lenoks\_box@mail.ru

Работа посвящена проблеме постановки вариационных задач поиска минимума функционала нескольких функций в криволинейных ортогональных координатах, характеризующих коэффициентами Г. Ламе. Предложен и обоснован способ задания граничных условий, учитывающий возможность вариации неизвестных функций на границе. Полученные результаты могут быть использованы при постановке и решении вариационных задач гидродинамики, в частности гидродинамической теории смазки.

*Ключевые слова:* вариационное исчисление, вариационные задачи с подвижными границами, криволинейные ортогональные координаты, краевые задачи гидродинамики.

**EULER – LAGRANGE GENERALIZED EQUATIONS IN CURVELINEAR COORDINATES FOR VARIATIONAL PROBLEMS WITH SLIDING BOUNDARIES****Kornaev Aleksey Valeryevich**

Oryol State University of name I.S. Turgeneva (OSU),  
95, Komsomolskaya st., Oryol, 302026, Russia,  
Scientific and Educational Center «Mechatronics and International Engineering»,  
Candidate of Engineering Sciences, Senior-Researcher,  
phone +7-953-478-15-91,  
e-mail: rusakor@inbox.ru

**Kornaeva Elena Petrovna**

Oryol State University of name I.S. Turgeneva (OSU),  
Chair «Informational Systems»,  
Candidate of of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,  
phone +7-953-817-30-50,  
e-mail: lenoks\_box@mail.ru

The aim in this work is to solving variational problems of target functional minimum search in curvilinear orthogonal coordinates, characterized by G. Lamé's coefficients. The method of boundary conditions defining, taking into account the possibility of variation of the unknown functions at the boundary is proposed and justified. The results can be used in the formulation and solving of variational problems in hydrodynamics, in particular, the hydrodynamic lubrication theory.

*Keywords:* variation calculus, variational problems with sliding boundaries, curvilinear orthogonal coordinates, boundary value problems in hydrodynamics.

**ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ  
ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК РГУПС»**

**1** **Материалы статей** представляют в виде текстов, отформатированных и распечатанных на лазерном или струйном принтере (пригодных для сканирования) на белой бумаге формата А4 (210x297 мм) в одном экземпляре. Рекомендуемый объем статьи – 4–10 страниц.

Одновременно текст представляют в виде файла на CD-диске в текстовом редакторе *Word for Windows*, шрифт *Times New Roman*, 11 pt, межстрочный интервал – одинарный, выравнивание по ширине, абзацный отступ – 1,25 см, все поля – 2 см.

**2** **На первой странице должны быть указаны:**

- **УДК** – в левом верхнем углу;
- интервал;
- **инициалы и фамилии авторов** – по центру, курсивом;
- интервал;
- **название статьи** – заглавными буквами, полужирным шрифтом, по центру, без переносов;
- интервал;
- **текст статьи** – печатается с переносами.
- **Статья должна содержать вводную часть, цель научной разработки, основную часть и выводы.**

**3** **Буквы** латинского алфавита набирают *курсивом*, буквы греческого и русского алфавитов – прямым шрифтом. Математические символы **lim, ln, arg, const, sin, cos, min, max** и т.д. набирают прямым шрифтом.

**4** **Формулы.** При наборе формул следует пользоваться редактором формул Math Type.

Большие формулы необходимо разбить на отдельные фрагменты. Фрагменты формул по возможности должны быть независимы (при работе в формульном редакторе каждая строка – отдельный объект). Нумерацию следует печатать в *Word* отдельно от формул. Располагать формулы следует по центру строки.

Буквы J и I, e и l, h и n, q и g, V и U, O (буква) и 0 (ноль) должны различаться по начертанию.

Тире, дефис, знак «минус» обозначают соответствующими знаками.

Нумеровать следует только те формулы, на которые есть ссылки в тексте.

Обозначения, термины и иллюстративный материал должны соответствовать действующим ГОСТам.

**5** **Рисунки и фотографии** (не более пяти), выполненные четко и контрастно, следует размещать в порядке их упоминания в тексте, подписанная подпись обязательна.

**6** **Библиографический список** приводят общим списком в конце статьи и составляют в соответствии с последовательностью ссылок в тексте, которые обозначают арабскими цифрами в квадратных скобках. Литературу оформляют только согласно ГОСТ 7.1-2003.

**Обязательно представить перевод библиографического списка на английский язык.**

Текст статьи должен быть тщательно отредактирован и готов для макетирования и верстки журнала на компьютере.

**7** **Статья должна быть обязательно подписана всеми авторами.**

**Материалы, прилагаемые к статье,** печатают на отдельном листе.

**8** **Аннотация** (на русском и английском языках):

- **УДК.**
- **Название статьи** (заглавными буквами, полужирным шрифтом).
- **Аннотация** (краткое содержание статьи, включающее 3–4 предложения).
- **Ключевые слова.**

Каждое ключевое слово или словосочетание отделяется от другого запятой.

**9** **Сведения об авторах** (на русском и английском языках):

- **Фамилия, имя, отчество автора** (полностью, без сокращений).
- **Место работы каждого автора** в именительном падеже.
- **Почтовый адрес места работы** с указанием почтового индекса.
- **Ученая степень, ученое звание, должность.**

Важно четко, не допуская иной трактовки, указать место работы конкретного автора. Если все авторы статьи работают или учатся в одном учреждении, можно не указывать место работы каждого автора отдельно.

■ **Контактный телефон.**

■ **E-mail.**

Сведения по п. 9 составляют для каждого автора отдельно в порядке упоминания в статье.

**Условия и порядок публикации статей в журнале**

**1** Статья должна быть оформлена по прилагаемым требованиям.

**2** Автор имеет право опубликовать в номере одну статью.

**3** Автор может прислать статью в адрес редакции:

• по почте

344038, г. Ростов н/Д, пл. им. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2.  
Ростовский государственный университет путей сообщения.

Редакция журнала «ВЕСТНИК РГУПС».

• по электронной почте

E-mail: vlm\_nis@sci.rgups.ru,

nis@rgups.ru (дополнительный).

• принести в редакцию и передать ответственному секретарю (гл. корпус, ком. Д 107),  
телефон +7(863) 272-62-74, факс +7 (863) 255-37-85.

**4** Статья, представляемая в редакцию, должна соответствовать тематике издания.

Тематика журнала охватывает основные проблемы транспорта, а также энергетики, машиностроения и управления. Публикуются статьи по следующим секциям:

- машиностроение;
- подвижной состав, безопасность движения и экология;
- транспортная энергетика;
- информационные технологии, автоматика и телекоммуникации;
- управление и логистика на транспорте;
- железнодорожный путь и транспортное строительство;
- моделирование систем и процессов.

**5** Редакционная коллегия принимает для публикации статьи после тщательной научной экспертизы.

Для публикации отбирают статьи, которые представляют научный интерес и являются новой ступенью в разработке данной проблемы. Статьи публицистического плана не принимаются.

**6** На заседании редколлегии принимают решение о возможности публикации статьи только при наличии положительной рецензии.

**7** Все расходы по подготовке к публикации и изданию журнала оплачивает университет, в том числе и почтовые расходы при пересылке журнала авторам.

**Краткая информация о журнале**

Научно-технический журнал «Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения» («Вестник РГУПС») издается с октября 1999 года, зарегистрирован в Госкомитете по печати РФ, свидетельство о регистрации № 018074. Журнал имеет международный стандартный сериальный номер (ISSN 0201-727X), присвоенный Книжной палатой Российской Федерации.

Учредителем и издателем является Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (РГУПС).

Главный редактор журнала – академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор В.И. Колесников.

В состав редакционной коллегии входят ведущие ученые РГУПС, а также других транспортных и академических университетов Северо-Кавказского региона, Москвы, Санкт-Петербурга, Украины (Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна, г. Днепропетровск), Республики Беларусь (Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель), Чешской Республики (Остравский технический университет, г. Острава), Польши (Силезский технический университет, г. Катовице), Франции (Университет дю Мэн, г. Ле-Ман).

Журнал выходит с периодичностью 4 номера в год, т.е. каждый квартал.

С апреля 2004 года «Вестник РГУПС» включен в «Перечень периодических научных и научно-технических изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых рекомендуется публикация основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук» (решение Президиума ВАК № 6/4 от 6.02.2004 г.). Журнал вошел во все последующие редакции Перечня.

«Вестник РГУПС» – подписное издание. С 2004 года журнал включен в каталог подписных изданий агентства «Роспечать» (в специальном каталоге «ГАЗЕТЫ. ЖУРНАЛЫ» зарегистрирован под индексом 53720).

Подписаться на журнал можно в любом отделении связи, распространяется журнал на территории Российской Федерации. Подписку можно оформить на квартал, на полгода или на год. Цена одного номера – 450 рублей.

Журнал «Вестник РГУПС» бесплатно рассылается всем отраслевым вузам, в ряд вузов Министерства образования и науки России, центральным и зональным научно-техническим библиотекам, НИИ информации.

**Почтовый адрес редакции:**

344038, г. Ростов н/Д, пл. им. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2.

Ростовский государственный университет путей сообщения.

Редакция журнала «Вестник РГУПС».

Телефон: +7(863) 272-62-74. Факс: +7(863) 255-37-85.

E-mail: vlm\_nis@sci.rgups.ru ; nis@rgups.ru (дополнительный).

**Архив журнала и требования по оформлению статей размещены на сайтах:**  
**<http://www.rgups.ru> в разделе «Издания» и <http://vestnik.rgups.ru>**

*Научное издание*

**ВЕСТНИК  
Ростовского государственного университета  
путей сообщения**

Научно-технический журнал

**№ 4 (64)  
2016**

**Уважаемые читатели!**

**Вы можете подписаться на наш журнал в любом отделении связи.  
Индекс журнала по каталогу «Роспечати» 53720**

**Полнотекстовая версия статей  
(за все годы существования журнала с 1999 г.)  
находится в открытом доступе на сайте  
Российской научной электронной библиотеки: [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)  
Журнал обрабатывается в системах индексов научного цитирования  
РИНЦ и Science Index**

**Требования к оформлению статей размещены на сайте  
<http://vestnik.rgups.ru>**

Редакторы: А.В. Артамонов, Т.В. Бродская, Т.И. Исаева,  
Н.С. Федорова, Т.М. Чеснокова,  
А.П. Кононенко (английский текст)

Корректоры: А.В. Артамонов, Т.В. Бродская, Т.И. Исаева,  
Н.С. Федорова, Т.М. Чеснокова,  
А.П. Кононенко (английский текст)

Оригинал-макет журнала подготовлен Л.М. Винниковой

---

Подписано в печать 15.12.2016.  
Печать офсетная.  
Тираж 500 экз.

Формат 60x84/8.  
Усл. печ. л. 22,0.

Бумага офсетная.  
Изд. № 144.  
Заказ 192.

---

**Учредитель:**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Ростовский государственный университет путей сообщения»  
(ФГБОУ ВО РГУПС)**

**Адрес университета:**

**344038, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового Полка  
Народного Ополчения, д. 2.  
Телефон редакции +7 (863) 272-62-74; факс +7 (863) 255-37-85.  
E-mail: [vlm\\_nis@sci.rgups.ru](mailto:vlm_nis@sci.rgups.ru); [nis@rgups.ru](mailto:nis@rgups.ru)**

**Отпечатано в издательстве «D&V». Св-во № 003679887.  
344037, г. Ростов-на-Дону, ул. 20 линия, 54.  
E-mail: [divprint@mail.ru](mailto:divprint@mail.ru). Телефон +7 (918) 543-75-63.**