

**ИЗВЕСТИЯ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**PROCEEDING OF THE  
KABARDINO-BALKARIAN  
STATE UNIVERSITY**

**ТОМ IV, № 5, 2014**

Учредитель: Кабардино-Балкарский государственный  
университет им. Х.М. Бербекова (КБГУ)

Главный редактор **Б.С. КАРАМУРЗОВ**  
Первый зам. главного редактора **А.П. САВИНЦЕВ**  
Зам. главного редактора **С.К. БАШИЕВА**  
Зам. главного редактора **Х.Б. ХОКОНОВ**  
Зам. главного редактора **А.А. ШЕБЗУХОВ**  
Зам. главного редактора **Г.Б. ШУСТОВ**  
Зам. главного редактора **М.М. ЯХУТЛОВ**  
Ответственный секретарь **М.Ч. ШОГЕНОВА**

#### **Редакционная коллегия**

Волков Ю.Г., Гуфан Ю.М., Дзамихов К.Ф., Муратова Е.Г., Карлик А.Е., Матузов Н.И., Радченко В.П., Радченко О.А.,  
Рубаков В.А., Фельдштейн Д.И., Фортов В.Е., Хавинсон В.Ц., Хохлов А.Р., Хуснутдинова Э.К., Гукешкоков М.Х.,  
Мустафаева З.А., Кетенчиев Х.А., Кочесоков Р.Х., Мизиев И.А., Шхануков-Лафишев М.Х.

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-44485 от 31.03.2011 г.

Подписной индекс в Каталоге «Пресса России» 43720.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций.

Доступ к рефератам статей журнала осуществляется на сайте научной электронной библиотеки «eLIBRARY.RU» (<http://elibrary.ru>).

ISSN 2221-7789

**Адрес редакции:** Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова  
360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173

**Телефоны:** (88662) 722313

**E-mail:** [rio@kbsu.ru](mailto:rio@kbsu.ru), <http://izvestia.kbsu.ru>

© Авторы, 2014

© Кабардино-Балкарский государственный  
университет им. Х.М. Бербекова, 2014

Founder: Kabardino-Balkarian State University (KBSU)

Editor in chief **B.S. KARAMURZOV**  
The 1<sup>st</sup> Deputy Editor **A.P. SAVINTSEV**  
Deputy Editor **S.K. BASHIEVA**  
Deputy Editor **H.B. KHOKONOV**  
Deputy Editor **A.A. SHEBZUHOV**  
Deputy Editor **G.B. SHUSTOV**  
Deputy Editor **M.M. YAHUTLOV**  
Executive sekretary **M.Ch. SHOGENOVA**

#### **Editorial board**

Volkov Yu.G., Gufan Yu.M., Dzamikhov K.F., Muratova E.G., Karlik A.E., Matuzov N.I.,  
Radchenko O.A., Radchenko V.P., Rubakov V.A., Feldshtein D.I., Fortov V.E.,  
Khavinson V.Ts., Hohlov A.R., Khusnutdinova E.K., Gukeshokov M.Kh., Mustafaeva Z.A.,  
Ketenchiev Kh.A., Kochesokov R.Kh., Miziev I.A., Shkhanukov-Lafishev M.Kh.

Registration certificate PI № FS 77-44485 from 31.03.2011

Subscription index in the catalog «Russian Press» 43720

Access to abstracts of articles of the magazine is carried out on the Scientific Electronic Library Online  
«eLIBRARY.RU» (<http://elibrary.ru>).

ISSN 2221-7789

**Editorial address:** Kabardino-Balkarian State University, 360004, Nalchik, Chernyshevsky st. 173

**Phone number:** (88662)722313

**E-mail:** [rio@kbsu.ru](mailto:rio@kbsu.ru), <http://izvestia.kbsu.ru>

© Authors, 2014

© Kabardino-Balkarian State University  
of H.M. Berbekov, 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Шептунов С.А.</b> Конструкторско-технологическая информатика – ключевой элемент формирования эффективных технологических платформ .....	7
<b>Соломенцев Ю.М., Кабак И.С., Суханова Н.В.</b> О повышении производительности суперкомпьютера путем оптимизации информационного межпроцессорного трафика ...	9
<b>Шептунов С.А., Кабак И.С., Суханова Н.В.</b> О системе дистанционного обучения инженеров .....	12
<b>Гордюк А.А.</b> Конфиденциальная телефонная связь на операционной системе «Андроид» ...	15
<b>Верещака А.А., Мигранов Марс Ш., Верещака А.С.</b> Повышение износостойкости режущих инструментов из спеченных порошковых быстрорежущих сталей путем стимулирования процессов самоорганизации .....	17
<b>Верещака А.С., Кириллов А.К., Верещака А.А., Хаустова О.Ю., Бубликов Ю.И.</b> Технологическая система экологически безопасного резания .....	20
<b>Хапачев Б.С., Маришев М.Х., Атаев П.Л., Бозиев О.Х.</b> К определению зернового состава алмазных шлифпорошков .....	23
<b>Нестеров С.А.</b> Математическая модель контактирования инструмента и обрабатываемой поверхности при реализации САМ-программ .....	26
<b>Яхутлов М.М., Карамурзов Б.С., Батыров У.Д., Глибеков А.Х., Карданова М.Р., Гутов А.А.</b> Исследование частотных характеристик системы зерно–твердосплавная матрица алмазного инструмента .....	28
<b>Лось И.С., Киреев С.Ю., Перельгин Ю.П., Розен А.Е., Харина И.Л.</b> Исследование коррозионного поведения многослойных материалов с протекторной питтинг-защтой .....	31
<b>Липницкий Ю.М., Куликов М.Ю., Ларионов М.А., Гусев Д.В.</b> Использование генеративных технологий при изготовлении размероподобных моделей для наземных аэродинамических испытаний изделий РКТ .....	34
<b>Куликов М.Ю., Нечаев Д.А., Иноземцев В.Е., Рыгин Р.Е.</b> Пути повышения качества высокоточных отверстий при хонинговании .....	37
<b>Иноземцев В.Е., Мо Наинг У.</b> Применение комплексных методов формирования поверхности из легкоплавких материалов на основе меди и алюминия .....	39
<b>Эльбаева Р.И., Эльбаев Р.А.</b> Качество биметаллических соединений сталь–баббит при центробежном способе изготовления с нагревом токами высокой частоты .....	42
<b>Батыров У.Д., Атаев П.Л., Карданов Т.Х.</b> Влияние конструктивных элементов решеток измельчителей пищевых продуктов на эффективность их работы .....	46
<b>Девятков В.В.</b> Методология имитационной экспертизы для анализа и синтеза сложных систем .....	49
<b>Денисов А.А., Денисова Е.В.</b> Проблема рассогласования шкал времени в проектировании абстрактных сознаний .....	53
<b>Насипов А.Ж., Петросян В.Г., Газарян Р.М.</b> Решение ситуационной задачи как основа технологической эвристики .....	56
<b>Досько С.И., Гусаров С.В., Юганов Е.В.</b> Способы проверки на адекватность математических моделей технических систем .....	60
<b>Сабилов Ф.С., Кочинев Н.А., Мысливцев К.В.</b> Улучшение динамических характеристик многослойных роторных систем .....	64
<b>Глибеков А.Х., Яхутлов М.М.</b> Разработка и тестирование комбинированного генетического алгоритма для решения задач математического программирования .....	68
<b>Досько С.И., Гусаров С.В., Юганов Е.В.</b> Диагностическая модель механической системы при множественном силовом воздействии .....	73
<b>Карлова Т.В., Бекмешов А.Ю., Запольская А.Н.</b> Поведенческие модели социодинамических систем управления .....	76
<b>Карлова Т.В., Бекмешов А.Ю., Запольская А.Н.</b> Многоуровневое управление конфиденциальной информацией как элемент социально-управленческого комплекса обеспечения безопасности предприятия .....	79
<b>Петросян В.Г., Насипов А.Ж., Газарян Р.М.</b> Отражение познавательной и преобразующей деятельности человека в предметных задачах .....	82

<b>Брылкин Ю.В., Кусов А.Л., Флоров А.В.</b> Тестирование алгоритма моделирования рельефа шероховатой поверхности на основе теории фракталов .....	86
<b>Колонтарев К.Б., Пушкарь Д.Ю., Казаков А.С.</b> Методология проспективного сравнительного исследования результатов выполнения открытой и роботической нервосберегающей радикальной простатэктомии .....	90
<b>Колонтарев К.Б., Раснер П.И., Говоров А.В., Пушкарь Д.Ю.</b> Анализ практического применения робот-ассистированной радикальной простатэктомии.....	93
<b>Ошхунов М.М., Джанкулаева М.А., Бечелова А.Р., Темботова М.М.</b> О выборе закона изменения коэффициента линейного расширения в тонкостенных цилиндрах .....	96
<b>Джанкулаев А.Я.</b> Моделирование нелинейного отпора основания методом конечных элементов .....	99
<b>Ланина Т.И., Волошин Ю.Н., Аджиева А.Ю., Дигешев А.Х.</b> Нечёткая модель прогнозирования продовольственной корзины в среде MATLAB .....	101
<b>Исламова О.В.</b> Моделирование свободных и гармонических колебаний клиноремённой передачи .....	105
<b>Сабанчиев Х.Х., Кибисhev И.А.</b> Повышение работоспособности зубчато-ременных передач путем выравнивания нагрузки по зубьям .....	108
<b>Мирзоев Т., Фраутц А.</b> Хранилища данных Amazon EC2 .....	111
<b>Требования к оформлению научной статьи, представляемой в журнал «Известия Кабардино-Балкарского государственного университета» .....</b>	115

## CONTENTS

### ENGINEERING SCIENCES

<b>Sheptunov S.A.</b> The design technological science – key element in building an effective technological platforms .....	7
<b>Solomentsev Yu.M., Kabak I.S., Sukhanova N.V.</b> About increase of productivity of a supercomputer by means of optimization of the information interprocessor traffic .....	9
<b>Sheptunov S.A., Kabak I.S., Sukhanova N.V.</b> About system of the distant engineering education .....	12
<b>Gordyuk A.A.</b> The secure communication on operation system «Android» .....	15
<b>Vereschaka A.A., Migranov Mars Sh., Vereschaka A.S.</b> Improve the wear resistance of cutting tools made of sintered powder high speed steel by encouraging self-organization process ....	17
<b>Vereschaka A.S., Kirillov A.K., Vereschaka A.A., Khaustova O.Yu., Bublikov Yu.I.</b> Technology systems of environmentally friendly cutting .....	20
<b>Khapachev B.S., Marishev M.K., Ataev P.L., Lukozhev A.A.</b> To the definition of diamond microgrit grain distribution .....	23
<b>Nesterov S.A.</b> Mathematical model of contacting the tool and work surface by implementing CAM programs .....	26
<b>Yakhutlov M.M., Karamurzov B.S., Batyrov U.D., Tlibekov A.Kh., Kardanov M.R., Gutov A.A.</b> Research of frequency characteristics of the system grain–hard alloy matrix of diamond tools .....	28
<b>Los I.S., Kireev S.Yu., Perelygin Yu.P., Rozen A.E., Kharina I.L.</b> The corrosion behavior of multilayer metals with sacrificial pitting protection .....	31
<b>Lipnitsky Yu.M., Kulikov M.Yu., Larionov M.A., Gusev D.V.</b> Using generative technologies at the manufacture models of similar size for ground aerodynamic testings of aerospace hardware .....	34
<b>Kulikov M.Yu., Nechaev D.A., Inozemtsev V.E., Rygin R.E.</b> Ways to improve the quality of high-precision holes in honing .....	37
<b>Inozemtsev V.E., Myo Naing Oo.</b> Using of integrated methods for forming the surface of the low-melting materials based on copper and aluminum .....	39
<b>Elbaeva R.I., Elbaev R.A.</b> Quality of bimetallic steel–babbitt compounds at the centrifugal method of production with heating by currents of high frequency .....	42
<b>Batirov U.D., Ataev P.L., Kardanov T.H.</b> Influence of constructive elements of gratings food blenders on efficiency of their work .....	46
<b>Devyatkov V.V.</b> Simulation examination methodology for complex systems synthesis and analysis .....	49
<b>Denisov A.A., Denisova E.V.</b> Problem of time scale mismatching in the designing of abstract consciousnesses .....	53
<b>Nasipov A.Zh., Petrosyan V.G., Gazaryan R.M.</b> Decision as situational problems through technological heuristics .....	56
<b>Dosko S.I., Gusarov S.V., Yuganov E.V.</b> Methods for verification mathematical models of technical systems .....	60
<b>Sabirov F.S., Kochinev N.A., Myslivtsev K.V.</b> Improving the dynamic response of multilayer rotor systems .....	64
<b>Tlibekov A.Kh., Yakhutlov M.M.</b> Development and testing of the combined genetic algorithm for solving the problems of mathematical programming .....	68
<b>Dosko S.I., Gusarov S.V., Yuganov E.V.</b> Diagnostic model of mechanical systems in multiple force effects .....	73
<b>Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu., Zapolskaya A.N.</b> Behavioral models of sociodynamic control systems .....	76
<b>Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu., Zapolskaya A.N.</b> Multilevel governance of confidential information as the element for social management complex of companies security .....	79
<b>Petrosyan V.G., Nasipov A.Zh., Gazaryan R.M.</b> Reflection of cognitive and transformative human activity in subject tasks .....	82
<b>Brylkin Yu.V., Kusov A.L., Frolov A.V.</b> Tests of the rough surface topology modeling algorithm based on the fractal theory .....	86
<b>Kolontarev K.B., Pushkar D.Yu., Kazakov A.S.</b> Methodology for prospective comparative results of trial and researching open and robotic nerve sparing radical prostatectomy .....	90

<b>Kolontarev K.B., Rasner P.I., Govorov A.V., Pushkar D.Yu.</b> Analysis of practical application da Vinci radical prostatectomy .....	93
<b>Oshkhunov M.M., Dzhankulaeva M.A., Bechelova A.R., Tembotova M.M.</b> The choice of law changes of linear expansion coefficients in the walled cylinders .....	96
<b>Dzhankulaev A.Y.</b> Modeling of nonlinear rebuff grounds by finite element methods .....	99
<b>Lanina T.I., Voloshin J.N., Adjieva A.J., Digeshev A.H.</b> Fuzzy model of forecasting food baskets in the MATLAB environment .....	101
<b>Islamova O.V.</b> Simulation of free and harmonic vibrations belt transmission .....	105
<b>Sabanchiev H.H., Kibishev I.A.</b> Increase efficiency toothed belt drives through the teeth of a load balancing .....	108
<b>Mirzoev T., Fouts A.</b> Amazon EC2 storage .....	111
<b>The demand to the design of the scientific article, represented in the journal «Proceeding of the Kabardino-Balkarian State University» .....</b>	115

---

---

# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

---

---

УДК 608.001

## КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА – КЛЮЧЕВОЙ ЭЛЕМЕНТ ФОРМИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ

Шептунов С.А.

*Институт конструкторско-технологической информатики РАН*

ship@ikti.ru

*Статья посвящена проблеме угрожающе недостаточных темпов развития технологической среды России. Кроме того, предложена научная версия, объясняющая сложившуюся ситуацию, а также предполагаемые сценарии, оценивающие принципиальную возможность перелома ситуации.*

**Ключевые слова:** модернизация, технологические платформы, технологический потенциал, технологическая среда.

## THE DESIGN TECHNOLOGICAL SCIENCE – KEY ELEMENT IN BUILDING AN EFFECTIVE TECHNOLOGICAL PLATFORMS

Sheptunov S.A.

*Institute of Design-Technological Informatics of RAS*

*The main aim is to focus attention on the alarmingly inadequate pace of development of Russian technological environment, and offer a scientific version, that can explain the situation, as well as the scenarios, assessing the fundamental possibility of fracture situation.*

**Keywords:** modernization, technological platforms, technological capabilities, technological environment.

**Введение. Основная проблема.** В 2013 году в прессе и научных изданиях количество упоминаний термина «модернизация» значительно сократилось. Такое угасание внимания к этому процессу в меньшей части объясняется прохождением «моды», а в большей – отсутствием эффектов от процессов, ожидаемых при публичном введении этого термина как одной из ключевых доктрин развития государства. Можно констатировать, что полученный эффект, а он имеет место быть, оказался гораздо скромнее, нежели ожидался. Несмотря на значительную поддержку государства, запуск механизмов структурного изменения промышленности не произошёл. Проще всего объяснить ситуацию коррупцией и иными популистскими заявлениями. Однако, это не является основной причиной, и проблемы имеют более глубокий, системный характер.

Главный вопрос – а нужны ли были те процессы, которые хотели запустить программой модернизации? Несомненно, нужда в них была и остается, поскольку технологический уклад российской промышленности сформировался еще при другом строе, структурно не изменился и на порядок отстает от общемирового. Задача скачка на следующий или следующие технологические уклады не только уместна, но и является ключевой для обеспечения безопасности и развития страны [1, 2].

Можно ли решить эту важную задачу модернизацией, и адекватен и соразмерен ли принятый сейчас подход решаемой задаче? С высокой вероятностью можно дать ответ – нет, и это смелое заявление подтверждается отрицательным опытом последних 4–5 лет.

Неправильным представляется рассматривать модернизацию как «внесение в существующие объекты изменений, повышающих их технический уровень и улучшающих экономические характеристики с целью приведения их в соответствие с современными требованиями».

Более уместным в этом отношении, на наш взгляд, является понятие «существующие объекты». Разница позиций состоит в том, что любая техническая (технологическая) система ограничена в своем совершенствовании. Например, самолет при любых затратах на модернизацию не сможет полететь в космос. Отсюда и ограниченность целесообразности модернизации, что не всегда учитывается.

Так, проблема значительных изменений в технологическом потенциале России не решена и продолжает оставаться острой, ежегодно усугубляясь. Простой модернизацией старых (или не очень старых) производств решить эту проблему невозможно. Нужен адекватный ситуации, эффективный инструмент перехода на новую технологическую ступень (технологический уклад) государства. Решение задачи возможно исключительно при поддержке государства.

**Основные подходы к решению проблемы.** Возможности и значимость страны, ценность крупной или мелкой фирмы и даже одного человека во многом определяются их технологическим потенциалом, т.е. способностью (умением) воздействовать на объекты с целью изменения их качественного состояния. Например, объектом может быть приготовление пищи, когда субъектом воздействия является отдельный человек, или программа покорения Луны, когда субъект – целое государство. Совокупность ресурсов, создающих потенциал и позволяющих реализовать такое воздействие, образуют технологическую среду (ТС) [3].

ТС может ограничиваться знаниями и умениями, когда оценивается отдельный человек, а может включать совокупность оборудования, технологий и других многочисленных ресурсов, когда оценивается фирма или целое государство. Чем значительней потенциал и действенней технологическое воздействие на актуальные в современном мире объекты, тем выше потенциал страны.

Заветной ТС можно достичь эволюционными (модернизация) или революционными стратегиями. В случае с Россией только полное перевооружение промышленности на новых принципах даст искомый результат.

С учетом предложенного ракурса решение проблемы формирования новой технологической среды для страны должно иметь в основе четкое понимание задач, для решения которых она (ТС) создается.

На сегодня такие задачи целочисленно и во времени не сформированы, что практически при ответственном подходе позволяет утверждать недостаточность условий формирования новой ТС. Подмена, состоящая в улучшении исторически сложившейся ТС, дает иное развитие, с высокой вероятностью получения отрицательных результатов.

**Заключение.** Предложенный ракурс для оценки ситуации создает основу нового подхода, реализация которого требует глубоких фундаментальных исследований и адекватного инструмента.

Наиболее действенным, с позиции автора, является взятие за основу актуальной модели развития мира на ближайшие 10–15 лет, а также выделение наиболее значимых проблем, обещающих приоритет и ощутимо сильные позиции странам, научившимся их решать. Актуализированный для России список таких проблем – это ключевые направления развития (НР), которые и создают базу для улучшения технологической среды государства.

Доктрина технологического развития должна строиться на новой парадигме, обособляя и одновременно гармонизируя решение отдельных принятых НР. В какой-то части целесообразно основываться на понятии «технологическая платформа» как обособленной технологической среде для решения одной из проблем НР. Для этого необходимо кардинально поменять ошибочную, но получившую распространение позицию, на основе которой сегодня реализуется программа «Технологические платформы», состоящую в том, что технологическая платформа – это интеграционная структура, объединяющая наиболее успешные в отрасли предприятия. Технологическая платформа – это прежде всего технологическая среда, эффективно и конкурентоспособно (лучше всех в мире) решающая одну из актуальных мировых проблем из списка НР.

Решение такой амбициозной, но обязательной задачи требует научных подходов фундаментального уровня. Конструкторско-технологическая информатика при должном развитии и является адекватным инструментом для решения поставленных задач.

В этой связи объединение ученых в рамках этой проблемы, а также проведение научных школ и конференций по данной тематике является важнейшей для современной науки задачей, решение которой обеспечит развитие общества и страны в целом.

В данном номере журнала представлены материалы II Международной научно-практической конференции «Конструкторско-технологическая информатика», проведенной 3–5 декабря 2013 г. на базе института конструкторско-технологической информатики РАН (г. Москва), в организации и проведении которой принимал Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова (г. Нальчик).

### **Библиография**

1. Модернизация российской экономики: структурный потенциал / отв. ред. Н.И. Иванова. М.: ИМЭМО РАН, 2010. 228 с.
2. Пономарев И., Ремизов М., Кареев Р., Бакулев К. Модернизация России как построение нового государства. Независимый экспертный доклад [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.arj.ru](http://www.arj.ru).
3. Мрочек Ж.А., Логвин В.А., Банковская Е.В., Кожуро Д.Л., Шептунов С.А. Технологическое обеспечение машиностроительного производства: учеб. пособие / под ред. Ж.А. Мрочека. М., 2013. 403 с.

## **О ПОВЫШЕНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СУПЕРКОМПЬЮТЕРА ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МЕЖПРОЦЕССОРНОГО ТРАФИКА**

**Соломенцев Ю.М., \*Кабак И.С., Суханова Н.В.**

*МГТУ «Станкин»*

\*ikabak@mail.ru

*В статье представлены основные результаты работы, которая выполнялась в ИКТИ РАН в рамках Программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН «Архитектурно-программные решения и обеспечение безопасности суперкомпьютерных информационно-вычислительных комплексов новых поколений» по направлению: «Архитектурные решения суперкомпьютерных информационно-вычислительных комплексов новых поколений».*

**Ключевые слова:** суперкомпьютер, искусственный интеллект, нейронная сеть, трафик информации.

## **ABOUT INCREASE OF PRODUCTIVITY OF A SUPERCOMPUTER BY MEANS OF OPTIMIZATION OF THE INFORMATION INTERPROCESSOR TRAFFIC**

**Solomentsev Yu.M., Kabak I.S., Sukhanova N.V.**

*Stankin MSTU*

*The article presents the main results of the work that was carried out in IKTI RAS in frames-of the Program for Basic Research of RAS NICU «Architecture and software solutions and software bezopasnosti supercomputer of computer complexes in the new generations» in the direction of «Architectural solutions for Supercomputing information and calculatory complexes of new generations».*

**Keywords:** supercomputer, artificial intelligence, neuron network, information traffic.

**Целью** исследования является определение состава интеллектуального вычислительного комплекса, разработка системы транспорта информации и способа распределения задач между модулями с учетом минимизации трафика информации между ними. Для этого необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ состава интеллектуально-вычислительного комплекса.
2. Определить основные компоненты и связи между ними.
3. Разработать способ распределения задач между модулями с учетом минимизации трафика информации между ними.
4. Исследовать транспорт информации между компонентами.
5. Разработать топологию транспортной информационной сети и предполагаемый протокол связи между модулями.

В основе проводимых работ лежит разработанная автором и запатентованная технология МОДУС-НС [1, 2]. Суперкомпьютерная система, построенная по технологии МОДУС-НС, рассматривает вычислительный, управляющий или интеллектуальный комплекс как совокупность двух основных составляющих: набора обрабатывающих компонентов; информационной транспортной среды.

Обрабатывающие компоненты возможны трех типов: вычислительных базовых модулей; интеллектуальных базовых модулей; вспомогательных периферийных модулей.

Для обеспечения работы информационной транспортной среды каждый обрабатывающий модуль включает особый аппаратный блок – сетевой процессор. Сетевой процессор является аналогом сетевого адаптера для компьютерных сетей, но оптимизирован для быстрой передачи информации и будет рассмотрен ниже.

Вычислительные базовые модули выполняют функции обработки информации по предопределенным алгоритмам, т.е. обработку данных по программе. При этом никаких ограничений на метод разработки и свойства программного обеспечения не накладывается.

Предполагается, что кроме чисто вычислительных задач суперкомпьютерная система может решать задачи искусственного интеллекта (ИИ), когда нет предопределенных методов решения и соответствующих алгоритмов. Для таких задач разработка алгоритмов и их программирование заменяется обу-

чением искусственной нейронной сети. При этом искусственная нейронная сеть (ИНС) является наиболее мощным способом решения задач ИИ, правда, не всегда самым эффективным.

Суперкомпьютерная вычислительная система может использовать ИИ не только для решения задач пользователей, но и для решения задачи оптимизации функционирования самой суперкомпьютерной системы, в частности, для ускорения передачи информации между ее аппаратными модулями.

Интеллектуальные базовые модули являются средством создания в суперкомпьютерной вычислительной системе ИНС. Эти модули собственно являются фрагментами ИНС, а их совокупность эту сеть и составляет.

Существует набор вспомогательных операций, без которых эффективное и надежное функционирование суперкомпьютерной вычислительной системы невозможно.

Вспомогательные периферийные модули обеспечивают согласованную работу всех базовых модулей системы; создают интерфейс системы с внешними пользователями (датчики, исполнительные устройства, операторы); реконфигурируют систему в начале работы и/или при отказе отдельных элементов, управляют транспортом информации по высокоскоростной сети с топологией гиперкуб; выполняют ряд других функций.

Подобная архитектура суперкомпьютерной вычислительной системы позволяет решать вычислительные задачи с включенными в них фрагментами ИИ, задачи ИИ с включенными в них вычислительными процедурами и выполнять вспомогательные функции, в частности оптимально управлять распределением задач и транспортом информации в суперкомпьютерных системах.

Приближенные оценки показывают, что информационная транспортная система суперкомпьютера должна обеспечить передачу примерно  $2 \cdot 10^{25}$  бит в секунду. Отметим две важные особенности рассматриваемой информационной транспортной системы. Во-первых, расстояние между узлами незначительное, поскольку узлами являются процессоры, и длина отдельных кабелей будет небольшой. Во-вторых, суммарная производительная транспортная система должна быть высокой.

В качестве топологии для информационной транспортной системы была выбрана топология «гиперкуб» размерности  $N$ . Гиперкуб является декартовым произведением  $N$  равных отрезков, имеющих следующие свойства: в  $N$ -мерном гиперкубе каждая вершина связана ребрами с  $N$  другими вершинами;  $N$ -мерный куб образуется  $N$  парами параллельных  $(N-1)$ -мерных плоскостей,  $N$ -мерный куб имеет  $2N$  гиперграни, причем каждая из них является  $(N-1)$ -кубом; число  $K$ -мерных граней  $N$ -мерного куба равно  $2^{N-K} C_N^K$ , где  $C_N^K$  является сочетанием из  $N$  элементов по  $K$  и может быть вычислено по формуле :

$$C_N^K = \frac{N!}{K!(N-K)!}, \quad (1)$$

где  $C_N^K$  – число сочетаний из  $N$  элементов по  $K$ ,  $N$  – размерность куба,  $K$  – размерность граней.

Использование топологии гиперкуба позволяет одновременно передавать информацию по  $N$  каналам связи одновременно.

Существуют технологии, позволяющие передавать по одному оптоволоконному каналу связи достаточно большой объем информации до 26 терабит/с с перспективой до 100 терабит/с. Эти технологии основываются на ортогональном частотном разделении каналов с мультиплексированием, что может быть решено двумя способами: на каждой частоте используется отдельный лазер и отдельный приёмник, что очень дорого и существенно увеличит габариты блоков информационной транспортной системы суперкомпьютера; используется технология передачи по оптоволокну нескольких сотен поднесущих разного цвета с одним лазером, работающим с короткими импульсами.

В основе предлагаемого решения лежат следующие принципы: информационно-транспортную систему составляют каналы связи и совокупность коммуникационных процессоров всех модулей системы; одновременно возможна передача данных по  $N$  каналам связи, где  $N$  – размерность гиперкуба; скорость передачи данных напрямую зависит от быстродействия коммуникационного процессора. Для ускорения его работы используется метод коммутации и передачи пакета «на лету».

Процессы передачи информации и маршрутизации информационно-транспортных потоков разделены во времени и по исполнителям. Маршрутизация проводится вне коммуникационных процессоров периферийными модулями системы. Определенный ими маршрут пересылается каждому транзитному модулю для его коммутационного процессора в виде строки таблицы коммутации.

Производительность информационной транспортной системы определим как суммарное количество информации, передаваемой по всем маршрутам между процессорными модулями за единицу времени [3].

Критерием маршрутизации является максимальная производительность информационной транспортной системы в целом – передача максимального количества информации для всей системы. Отме-

тим, что  $L_{a-b}$  – минимальная длина пути информации при ее передаче от модуля А с координатами  $(i_{1,a}, i_{2,a}, \dots, i_{N,a})$  в модуль В с координатами  $(i_{1,b}, i_{2,b}, \dots, i_{N,b})$  может быть вычислена по формуле:

$$L_{a-b} = \sum_{j=1}^N |i_{j,a} - i_{j,b}|, \quad (2)$$

где  $L_{a-b}$  – минимальная длина пути информации,  $(i_{1,a}, i_{2,a}, \dots, i_{N,a})$  – координаты начальной точки пути (модуля А),  $(i_{1,b}, i_{2,b}, \dots, i_{N,b})$  – координаты конечной точки пути (модуля В).

Производительность информационной транспортной системы в целом представляет собой суммарное количество информации (передаваемой по всем маршрутам с учетом фиксированной длины пакета) и может быть оценено по формуле:

$$L_0 = \sum_{\forall L_{a-b}} L_{a-b}, \quad (3)$$

где  $L_0$  – оценка производительности информационной транспортной системы,  $L_{a-b}$  – минимальная длина пути информации (2).

В результате исследования был определен состав суперкомпьютерного вычислительного комплекса, разработана система транспорта информации и способ распределения задач между модулями с учетом оптимизации трафика информации между ними.

### Библиография

1. Кабак И.С., Суханова Н.В. Технология реализации автоматизированных систем управления на базе больших искусственных нейронных сетей МОДУС-НС // Межотраслевая информационная служба. 2012. № 4. С. 43–47.

2. Кабак И.С. Создание больших аппаратно-программных нейронных сетей для систем управления // Авиационная промышленность. 2012. № 4. С. 57–59.

3. Соломенцев Ю.М., Шептунов С.А., Кабак И.С., Суханова Н.В. Повышение быстродействия суперкомпьютера за счет оптимизации информационного межпроцессорного трафика // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. 2012. Т. II, № 4. С. 71–73.

## О СИСТЕМЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРОВ

Шептунов С.А.<sup>1</sup>, \*Кабак И.С.<sup>2</sup>, Суханова Н.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт конструкторско-технологической информатики РАН*

<sup>2</sup>*МГТУ «Станкин»*

\*ikabak@mail.ru

*Статья посвящена обсуждению дистанционного обучения, так как оно является новой перспективной формой подготовки специалистов высшей квалификации.*

**Ключевые слова:** дистанционное обучение, моделирование, телекоммуникации, искусственный интеллект.

## ABOUT SYSTEM OF THE DISTANT ENGINEERING EDUCATION

Sheptunov S.A.<sup>1</sup>, Kabak I.S.<sup>2</sup>, Sukhanova N.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Design-Technological Informatics of RAS*

<sup>2</sup>*Stankin MSTU*

*This article is dedicated to discussion of the distant education in high school as a new perspective form of the preparation specialist to high qualification.*

**Keywords:** distant education, simulation, telecommunications, artificial intelligence.

Дистанционным обучением называется взаимодействие учителя и учащихся между собой на расстоянии, включающее все присущие учебному процессу компоненты (цель, содержание, методы, организационные формы, средства обучения) и реализуемое специфическими интернет-технологиями или другими средствами, предусматривающими интерактивность [1]. Оно является самостоятельной формой обучения на базе информационных технологий.

Обычно дистанционное обучение включает: систему передачи информации; методы, вытекающие из телекоммуникационной среды обмена информацией.

В России и за рубежом существуют стандарты дистанционного обучения (например, SCORM), поддержанные соответствующим программным и другим обеспечением.

В целом дистанционное обучение позволяет: снизить затраты на собственно обучение, исключая аренду помещений, транспортные и другие расходы; обучать практически неограниченное количество студентов; повысить качество обучения, применяя современные средства, электронные библиотеки и другие новые технологии; создать единую образовательную среду.

Большинство систем дистанционной подготовки предполагают обучение на компенсационной основе, что требует создания особой системы взаимоотношений между студентом и учебным заведением. При подготовке инженерам требуется освоить больше практических навыков, чем при подготовке специалистов другого профиля, что существенно сказывается на самом учебном процессе. Большинство этих навыков приобретаются студентами при выполнении лабораторных работ на современном оборудовании.

Несмотря на то, что для дистанционного обучения требуется существенно более глубокая методическая проработка материала лектором или преподавателем, подготовка курса лекций и практических занятий не требует кардинальных отличий при традиционном или дистанционном обучении.

Иначе дело обстоит с лабораторными работами. Традиционная лабораторная работа предполагает непосредственное физическое воздействие студента на оборудование или аппаратуру. Обеспечить такой режим при дистанционном обучении затруднительно.

Можно создать более или менее полную иллюзию присутствия, например, методами виртуальной реальности, компьютерной модели материальной реальности, которая обеспечена техническими средствами и ощущается учеником через естественные органы чувств – зрение, слух, обоняние, осязание. В ней объекты обычно ведут себя близко к поведению аналогичных объектов материальной реальности, ученик может воздействовать на них в соответствии с реальными законами физики, свойствами материалов, включая воздействие гравитации, столкновение с другими объектами, отражение и другие оптические эффекты.

Создание эффекта виртуальной реальности возможно, но его стоимость очень высока, и обычно его применяют для особых групп специалистов, когда использование реального оборудования нецелесообразно, например, при подготовке летчиков или космонавтов.

Более перспективны упрощенные методы, включающие фактическое выполнение действий, но на расстоянии (удаленное воздействие) или симуляцию (моделирование процессов).

Для специального или уникального лабораторного оборудования построение симулятора может быть нецелесообразно из-за высокой сложности задачи или стоимости ее решения. Современные технологии телекоммуникаций позволяют в полной мере эту задачу решить. Выбор той или иной телекоммуникационной технологии в существенной степени зависит от допустимой величины задержки при передаче информации и прогнозируемости оценки такой задержки. При несущественности секундных задержек можно использовать наиболее распространенную в настоящее время технологию TCP/IP.

Использование более современных технологий передачи информации, например, АТМ, позволяет снизить такие задержки до незначительного уровня, определяемого микросекундами. Это значительно расширяет возможности использования оборудования и сферу его применения, например, с использованием роботов в реальном времени выполнять производственные операции на металлообрабатывающем оборудовании или проводить медицинские операции, используя робот Да Винчи.

Моделирование процессов позволяет выполнять лабораторные работы непосредственно на компьютере пользователя, получая с сервера системы дистанционного обучения только необходимое для этого программное обеспечение. Такой подход позволяет полностью решить вопросы времени доступа пользователей, поскольку сервер работает круглосуточно в автоматическом режиме и не требует присутствия вспомогательного персонала для выполнения лабораторной работы. На этом принципе работают не только системы дистанционного обучения, но и ряд обучающих программных продуктов, таких как LabView, LabWindows и др. Имеющиеся в настоящее время многочисленные технологии на основе объектно-ориентированного программирования позволяют сравнительно дешево этот подход реализовать.

Особый интерес представляет использование для симуляции систем с искусственным интеллектом. Предложенный в работах и патентах [2–8] метод построения искусственных нейронных сетей позволяет не только сравнительно просто создавать такие сети, но и сохранять как целиком всю систему, так и логический компонент.

Подготовка лекций и практических занятий в дистанционном режиме требуют от преподавателей существенно больше усилий, в том числе поиска новых методических подходов. Поэтому затраты на подготовку дистанционных курсов существенно выше. Это приводит к применению компенсационных вариантов дистанционного обучения, когда вопросы лицензионного использования специальных учебных материалов (подготовленных учебников, конспектов лекций, методических материалов) становятся актуальными.

В рассматриваемой системе вопросы доступа решаются с использованием криптографических методов. Для работы с сервером обучающей системы используется специальная программа. При первом запуске этой программы по учетной информации производится обеспечение идентичности паролей пользователей и системы. В процессе передачи данных пароли постоянно изменяются, так что переустановка данной программы на другой компьютер невозможна, как и нелегальное использование учебных материалов [9, 10].

#### **Выводы**

1. Дистанционная система подготовки инженеров имеет свою специфику, в частности, в структуре учебных курсов имеется большое количество практических занятий и лабораторных работ на современном оборудовании.

2. Предлагается использовать средства удаленного доступа, имитаторы и симуляторы работы современного уникального оборудования для проведения практических занятий и лабораторных работ. В настоящее время система имитаторов и симуляторов оборудования проходит испытание в тестовом режиме.

3. Проведенные испытания показали высокую эффективность системы дистанционного обучения инженеров и надежность средств защиты информации.

#### **Библиография**

1. Полат Е.С., Моисеева М.В., Петров А.Е. Педагогические технологии дистанционного обучения / под ред. Е.С. Полат. М.: Академия, 2006.
2. Кабак И.С., Суханова Н.В. Аппаратная реализация ассоциативной памяти произвольного размера // Вестник МГТУ «Станкин». 2010. № 1(9). С. 135–139.

3. Кабак И.С., Суханова Н.В. Моделирование надежности программного обеспечения систем управления автоматизированными технологическими комплексами на базе искусственного интеллекта // Вестник МГТУ «Станкин». № 1 (19). 2012. С. 95–99.

4. Соломенцев Ю.М., Шептунов С.А., Кабак И.С., Суханова Н.В., Повышение быстродействия суперкомпьютера за счет оптимизации информационного межпроцессорного трафика // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. 2012. Т.2, № 4. С. 71–73.

5. Кабак И.С., Гаделев А.М. Система диагностики технологического процесса резания с использованием аппарата нейронных сетей // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 10. С. 25–29.

6. Кабак И.С., Суханова Н.В. Нейронная сеть. Патент на полезную модель №66831, приоритет 02.04.2007 // Бюл. изобр. и ПМ. 2007. № 27. 3 с.

7. Соломенцев Ю.М., Шептунов С.А., Кабак И.С., Суханова Н.В. Многослойная модульная вычислительная система. Патент на изобретение №2398281, приоритет 07.11.2008 // Бюл. изобр. и ПМ. 2010. № 24. 5 с.

8. Соломенцев Ю.М., Шептунов С.А., Кабак И.С., Суханова Н.В. Способ построения устройств нечеткой логики и устройство для его реализации. Патент на изобретение №2417442, приоритет 19.12.2008 // Бюл. изобр. и ПМ. 2011. № 12. 5 с.

9. Кабак И.С., Суханова Н.В., Позднеев Б.Н. Способ формирования переменного ключа для блочного шифрования данных. Патент на изобретение №24593367, приоритет 16.07.2010 // Бюл. изобр. и ПМ. 2012. № 23. 5 с.

10. Кабак И.С., Суханова Н.В., Позднеев Б.Н. Способ блочного шифрования сообщений и передачи шифрованных данных с закрытым ключом. Патент на изобретение, приоритет 10.05.2013 // Бюл. изобр. и ПМ. 2013. № 13. 5 с.

## КОНФИДЕНЦИАЛЬНАЯ ТЕЛЕФОННАЯ СВЯЗЬ НА ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ «АНДРОИД»

Гордюк А.А.

МГТУ «Станкин»

gcahek@gmail.com

*Современные мобильные вычислительные устройства, такие как смартфоны, имеют ресурсы, достаточные для решения задач защиты информации. В данной статье описано создание системы телефонной защищенной связи на основе асимметричных методов шифрации. Система для выбора параметров и ключей криптозащиты использует методы искусственного интеллекта, в том числе искусственные нейронные сети.*

**Ключевые слова:** асимметричное шифрование, искусственные нейронные сети, база данных открытых ключей.

## THE SECURE COMMUNICATION ON OPERATION SISTEM «ANDROID»

Gordyuk A.A.

Stankin MSTU

*Modern mobile computing devices such as smartphones, have sufficient resources for the solution of information security problems. This article describes how to create a secure connection of the telephone system, based on asymmetric encryption techniques. The system for selecting parameters and key encryption uses artificial intelligence techniques, including artificial neural networks.*

**Keywords:** asymmetric encryption, artificial neural networks, a database of public keys.

Выявленные многочисленные случаи подслушивания телефонных переговоров ставят задачу обеспечения надежной и защищенной телефонной связи с использованием мобильных устройств. Технической базой для решения этой задачи является разработка и повсеместное использование достаточно дешевых и простых в эксплуатации мобильных устройств, например, смартфонов с операционной системой «Андроид».

Такие смартфоны не только имеют необходимые средства для решения достаточно ресурсоемких задач, но и ориентированы, в первую очередь, на последовательное выполнение задач операционной системой. Эти ограничения были учтены в данной работе.

Процесс обмена информации представлен в виде нескольких последовательных этапов:

- короткий этап незащищенной связи. На этом этапе система решает задачу распознавания собеседника при помощи биометрической информации (голоса);
- определение открытого ключа для асимметричной шифрации данных;
- переход в конфиденциальный режим связи;
- потоковая шифрация/дешифрация информации;
- завершение связи.

Схема связи приведена на рис. 1. На первом этапе, в самом начале разговора система пытается определить абонента на противоположной стороне. Для этого используются методы идентификации предполагаемого абонента.

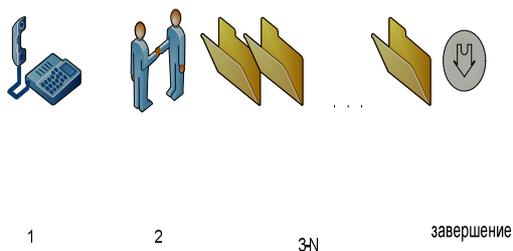


Рис. 1. Предлагаемая схема связи

Второй способ может использоваться для идентификации пользователя любой фрагмент речи, для этого используются уникальные особенности голоса диктора, которые выделяются посредством различных алгоритмов.

Воспользуемся методами текстонезависимой идентификации, а именно методом мел-кепстральных коэффициентов (MFCC) [1]. Он позволяет существенно сократить количество параметров, которые требуются нейронной сети для принятия корректного решения.

На основе фрагмента записи голоса определяется его спектр. Для этого можно, например, использовать алгоритмы быстрого преобразования Фурье (БПФ), распределяя его по мел-шкале и вычисляя энергию сигнала.

К полученным энергиям применим дискретное косинусное преобразование, в результате чего получим последовательность мел-кепстральных коэффициентов. Это множество мел-кепстральных коэффициентов является входной информацией обученной искусственной нейронной сети, которая решает задачу классификации объекта, т.е. на выходе определяет абонент. Способ построения искусственной нейронной сети и особенности ее обучения рассмотрены в [2–7].

Вторым этапом задачи является определение открытого ключа шифрации. В рассматриваемой системе было решено использовать методы асимметричной шифрации, что позволяет хранить на мобильном устройстве только один секретный ключ (собственный ключ). Асимметричные методы шифрования подразумевают, что шифрация информации осуществляется всегда чужим открытым ключом, а дешифрация своим закрытым ключом. Получение чужого открытого ключа возможно из локальной базы данных – таблицы собеседников, где каждому собеседнику соответствует его открытый ключ. Возможно получение этой информации также из открытых интернет-ресурсов, где опубликованы публичные ключи абонентов.

Отметим, что время распознавания абонента весьма небольшое, в случае использования локальной базы собеседников, может составлять 2–3 секунды.

После выполнения второго этапа система переходит к обеспечению шифрованной безопасной связи. Признаком начала перехода служит специальный звуковой сигнал.

Третий и последующие этапы обеспечивают безопасную связь. Сами процедуры разбиения потоков данных на пакеты и их передача вполне традиционны и не содержат новизны.

#### **Выводы**

1. Предлагаемый метод обеспечивает прозрачный, не требующий дополнительных усилий от абонентов, безопасный режим мобильной телефонной связи, начиная со звукового сигнала до окончания сеанса.

2. Криптостойкость связи была многократно исследована в работах по алгоритму RSA. Для ключа длиной 1024 бит она составила  $4 \cdot 10^{25}$  операций, а для ключа 2048 бит – примерно  $6,7 \cdot 10^{38}$  операций [7].

#### **Библиография**

1. Первушин Е.А. Обзор основных методов распознавания дикторов // Математические структуры и моделирование. 2011. Вып. 24. С. 41–54 <http://msm.univer.omsk.su/jrn24/pervushinOverview.pdf>
2. Кабак И.С., Суханова Н.В. Нейронная сеть. Патент на полезную модель №66831, приоритет 02.04.2007. // Бюл. Изобр. И ПМ. 3 с.
3. Соломенцев Ю.М., Шептунов С.А., Кабак И.С., Суханова Н.В. Многослойная модульная вычислительная система. Патент на изобретение №2398281, приоритет 07.11.2008. // Бюл. Изобр. И ПМ. 5 с.
4. Соломенцев Ю.М., Шептунов С.А., Кабак И.С., Суханова Н.В. Способ построения устройств нечеткой логики и устройство для его реализации. Патент на изобретение №2417442, приоритет 19.12.2008.
5. Кабак И.С., Суханова Н.В. Аппаратная реализация ассоциативной памяти произвольного размера // Вестник МГТУ «Станкин». 2010. № 1(9). С. 135–139.
6. Соломенцев Ю.М., Шептунов С.А., Кабак И.С., Суханова Н.В. Повышение быстродействия суперкомпьютера за счет оптимизации информационного межпроцессорного трафика // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. 2012. Т. 2, № 4. С. 71–73.
7. Горбенко И.Д., Долгов В.И., Олешко О.И. Состояние и перспективы развития современных методов криптоанализа несимметричных алгоритмов шифрования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.bezpeka.com](http://www.bezpeka.com).

**ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ  
ИЗ СПЕЧЕННЫХ ПОРОШКОВЫХ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ ПУТЕМ  
СТИМУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ САМООРГАНИЗАЦИИ**

**Верещака А.А.<sup>1</sup>, \*Мигранов Марс Ш.<sup>2</sup>, Верещака А.С.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт конструкторско-технологической информатики РАН*

<sup>2</sup>*МГТУ «Станкин»*

\* [dr\\_averes@rambler.ru](mailto:dr_averes@rambler.ru)

*Целью исследований, представленных в настоящей работе, являлось повышение режущих свойств инструмента из порошковой быстрорежущей стали на основе управления условиями трения на контактных площадках лезвийного инструмента при температурах резания.*

**Ключевые слова:** вторичные структуры материала, стойкость инструмента, коэффициент трения.

**IMPROVE THE WEAR RESISTANCE OF CUTTING TOOLS MADE OF SINTERED POWDER  
HIGH SPEED STEEL BY ENCOURAGING SELF-ORGANIZATION PROCESS**

**Vereschaka A.<sup>1</sup>, Migranov Mars Sh.<sup>2</sup>, Vereschaka A.S.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Design-Technological Informatics of RAS*

<sup>2</sup>*Stankin MSTU*

*The purpose of the studies presented in this paper was to improve the cutting properties of tool made of powder speed steel by means of friction control on the contact areas of the edge cutting tool at cutting temperatures.*

**Keywords:** secondary structure of material, tool life, friction coefficient.

**Введение.** Исследования изнашивания инструментов из спрессованных и спеченных гетерогенных составных порошковых материалов (СПБС) на основе быстрорежущей стали с добавлением соединений с высокой температурой плавления показали, что поверхностные структуры этих материалов перестраиваются при воздействии термомеханических нагрузок, возникающих при резании, что позволяет считать их самоорганизующимися [1]. Подобные материалы способны образовывать во время работы устойчивые высокопрочные вторичные структуры, которые эффективно защищают трущиеся поверхности инструмента (контактные поверхности инструмента) от изнашивания [2]. Исходя из термодинамических представлений о механизмах изнашивания, весь спектр процессов, имеющих место при трении, можно разделить на 2 группы. К первой группе отнесено нормальное трение, ко второй – трение при катастрофическом изнашивании, весьма чувствительном к повреждениям. В течение всего периода работы пары трения в условиях нормального трения макроскопических разрушений на поверхности трибопар не наблюдали. При этом самоорганизация контактирующих поверхностей в процессе изнашивания происходит благодаря способности трибопары организовывать устойчивые упорядоченные структуры, защищающие основной материал трибопары от непосредственного контакта, а также от микро- и макроразрушения.

Защитные вторичные структуры представляют собой тонкие пленки на поверхности трения, которые формируются при высоком уровне деформирования и термического воздействия, сопровождающегося интенсивными диффузионными процессами при адсорбции, а также при различных реакциях разложения и ассимиляции [2]. Рассматриваемая концепция основана на значительном влиянии легирования на химический состав фаз, возникающих на трущихся поверхностях. В этой связи увеличение износостойкости контактных площадок инструмента может быть достигнуто путем расширения интервала и уровня самоорганизации, приводящей к образованию устойчивых высокопрочных вторичных фаз и соответствующему снижению коэффициента трения [3].

**Методика проведения экспериментальных исследований.** При исследованиях использовали инструментальные материалы, состав и свойства которых приведены в табл. 1 и 2. Износостойкость инструмента исследовали при точении стали 40Х НВ 180–200 инструментом, оснащаемом 4-гранными пластинами 12x12x6 с радиусом при вершине  $r=0,8$  мм в диапазоне скоростей резания 40–70 м/мин, по-

дате  $S=0,28$  мм/об; глубине резания  $t=0,5$  мм. Химический состав вторичных фаз, формирующихся при резании инструментом из спеченной порошковой быстрорежущей стали (СПБС), исследовали с помощью спектроскопии вторичной ионной массы (ВИМС). Исследовали «косые шлифы», приготовленные под углом  $5^\circ$  относительно верхней стороны режущей пластины. Принимая во внимание гетерофазовый характер образцов из СПБС, исследовали среднее значение химического состава базовой поверхности инструмента и химический состав зоны износа [4].

Таблица 1

Состав исследуемых материалов

Исследуемый материал	Фазовый состав сплава		
	Твердая фаза		Основа
	Состав	Содержание в %	
СПБС с TiC	TiC	20	Быстрорежущая сталь P6M5K5 (6% W, 5% Mo, 5% Co)
СПБС с TiCN	TiCN	20	
СПБС с TiCN и BN	TiCN BN	20 2	

Таблица 2

Свойства исследуемых образцов из легированной порошковой быстрорежущей стали (БРС)

Материалы	Термообработка		Физико-механические свойства			
	T, °C закалка	T, °C отпуск	HRC	$\sigma_b$ , МПа	Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	Термостабильность, °C
БРС с 20 % TiC	1210	~550	89	2100	80	655
БРС с 20 % TiCN	1210	~550	88	2200	110	640 – 650
БРС с 20 % TiC и 2 % BN	1210	~550	88	–	–	–

**Результаты и обсуждение.** В исследовании рассмотрено влияние легирования порошковых материалов на условия трения в особых трибосистемах (инструментальный и обрабатываемый материалы). В табл. 1 приведены данные исследования образцов из СПБР, которые изготавливали из порошковой быстрорежущей стали. Представлены результаты исследований по повышению износостойкости инструмента из СПБР с большими возможностями по самоорганизации и адаптации свойств материала к условиям резания. На первом этапе были выявлены составы материалов, наиболее адаптированных по своим свойствам к перестройке структуры при термомеханическом воздействии, возникающем при трении, что позволило применять основной способ контроля трения, связанного со снижением уровня самоорганизации.

Установлено, что если в исходных образцах из быстрорежущей стали частично заменить карбид титана на оксид алюминия, который является одной из наиболее устойчивых фаз, то можно достичь снижения уровня адгезионного взаимодействия и соответствующего уменьшения коэффициента трения (рис. 1). Последнее приводит к уменьшению мощности фрикционных источников тепла и соответствующему увеличению износостойкости инструмента при резании (рис. 2). Полученный результат весьма важен для материалов, имеющих ограниченную теплостойкость, так как расширяет область применения этих материалов за счет повышения диапазона допустимых скоростей резания. В исследовании рассмотрена методика легирования, в соответствии с которой воздействие на условия трения осуществляется главным образом путем упрочнения вторичных фаз на поверхности. Это приводит к увеличению коэффициента упрочнения материалов ( $K_h$ ) и интервала процесса самоорганизации, в результате чего увеличивается износостойкость инструмента.

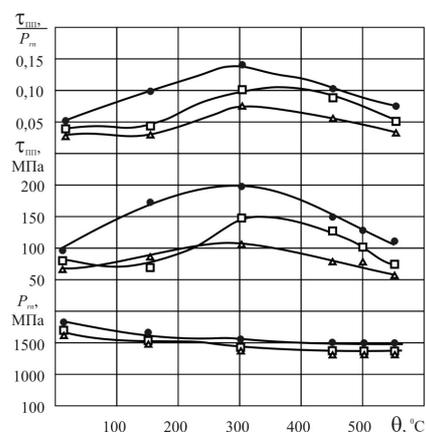


Рис. 1. Зависимость трибологических параметров исследуемых пар трения от рабочей температуры: ● – СПБС с 20 % TiC; □ – СПБС с 15 % TiC и 5 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; Δ – СПБС с 20 % TiCN

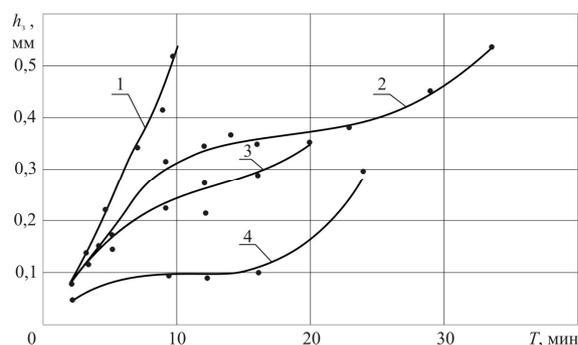


Рисунок 2. Влияние времени наработки инструмента на отказ и фактуру износа задней поверхности  $h_3$ : 1 – СПБр с 20 % TiC; 2 – СПБС с 20 % TiSi 2 % BN; 3 – СПБС с 15 % TiC и 5 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 4 – СПБС с 20 % TiCN

Легирование осуществлялось добавлением соединений с необходимой плотностью, относительно неустойчивых соединений при рабочих температурах. Указанное позволило использовать легирующие соединения в относительно небольших количествах (массой до 2 %). В качестве подобного соединения была выбрана твердая смазка BN для дополнительного легирования [4]. При этом принимали во внимание высокую вероятность образования при резании кислородосодержащих вторичных фаз.

Анализ полученных данных позволил сформулировать физический механизм указанных процессов. В зоне контакта «инструмент–заготовка» формируются градиенты температуры и напряжения, которые локализуются в нижележащих слоях.

Дополнительное легирование нитридом бора дает возможность осуществлять воздействие на трение не только за счет возникших более устойчивых вторичных структур, но и за счет изменения природы трения. Указанное возможно осуществить при переходе от вторичных структур второго типа (оксиподобные фазы стехиометрического состава), возникающих в тяжелых условиях при резании инструментом из быстрорежущей стали к аморфно-подобным вторичным структурам первого типа [4].

**Заключение.** Предлагается новая физическая концепция процесса самоорганизации в многофазных материалах. Рассмотрены методы регулирования трения и износа для инструментов из порошковых быстрорежущих сталей нового поколения (СПБС).

### Библиография

1. Fox-Rabinovich G.S. and other. Characteristic features of alloying HSS – based deformed compound powder materials with consideration for tool self-organization at cutting // *Wear*. 1997. 206. P. 214.
2. Бершадский Л.И. Самоорганизация и надежность трибосистем. Киев: Знание, 1981. – 35 с.
3. Польцер Г., Эбиленг В., Фирковский А. Внешнее трение твердых тел, диссипативные структуры и самоорганизация // *Трение и износ*. 1988. Т. 9, № 1. С. 12.
4. Шустер Л.Ш., Криони Н.К., Шолом В.Ю., Мигранов М.Ш. Покрытия и смазка в высокотемпературных подвижных сопряжениях и металлообработке. М.: Машиностроение, 2008. 318 с.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО РЕЗАНИЯ ДЛЯ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ

\*Верещака А.С.<sup>1,2</sup>, Кириллов А.К.<sup>2</sup>, Верещака А.А.<sup>1</sup>, Хаустова О.Ю.<sup>2</sup>, Бубликов Ю.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт конструкторско-технологической информатики РАН*

<sup>2</sup>*МГТУ «Станкин»*

\*[dr\\_averes@rambler.ru](mailto:dr_averes@rambler.ru)

*Разрабатываемая технология экологически безопасного резания (ЭБР) имеет хорошую перспективу заменить традиционные технологии токарной обработки с использованием различных типов СОТС, которые являются основной причиной вредного техногенного воздействия на окружающую среду и ухудшения экономических показателей обработки. Разрабатываемая технология может быть рекомендована для получистовой и чистовой токарной обработки заготовок из труднообрабатываемых материалов.*

**Ключевые слова:** экологически безопасное резание, получистовая и чистовая обработка, ионизированная газовая среда.

## TECHNOLOGY SYSTEMS OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY CUTTING

Vereschaka A.S.<sup>1,2</sup>, Kirillov A.K.<sup>2</sup>, Vereschaka A.A.<sup>1</sup>, Khaustova O.Yu.<sup>2</sup>, Bublikov Yu.I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Design-Technological Informatics of RAS*

<sup>2</sup>*Stankin MSTU*

*Developed technology of environmentally friendly cutting (EBR) has a good prospect to replace the traditional processing techniques using different types of coolants, which are the main cause of the harmful impact of industry on the environment and the deterioration of economic indicators treatment. The developed technology can be recommended for rough and finish machining of hard to machine materials.*

**Keywords:** environmentally friendly cutting, finishing machining, ionized gas medium.

**Введение.** Резание с применением смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) существенно повышает эффективность процесса, так как положительное действие СОТС в зоне резания обеспечивает улучшение таких выходных параметров резания, как: интенсивность изнашивания инструмента, качество обработанных поверхностей деталей, производительность обработки и т.д. Вместе с тем СОТС является одной из главных причин интенсивного техногенного загрязнения окружающей среды и ухудшения экономических показателей обработки [1].

Постоянно ужесточающиеся требования природоохранных организаций к защите окружающей среды, безопасности обслуживающего персонала и экологической чистоте производственных процессов в целом выдвигают на первое место безопасность применяемой СОТС и простоту ее утилизации [2, 3].

Применение различных типов СОТС, специализируемых под конкретные условия технологического процесса, регенерация в процессе эксплуатации и последующая утилизация связаны с большими финансовыми затратами. В связи с этим происходит увеличение себестоимости выходной продукции [4, 5].

**Методика исследований.** Исследования влияния ионизированной газовой среды (ИГС) на процесс резания и его параметры проводили на специальных стендах токарно-винторезного станка модели 16К20 и вертикально фрезерном станке 6Т12, оснащенных устройствами для подачи в зону резания ионизированного воздуха, фиксирования износа инструмента и шероховатости обработанной поверхности. На первом этапе проводили оптимизацию параметров системы ИГС. Исследования проводили при продольном точении заготовок из стали 45 (НВ 180) с  $t=1$  мм,  $S=0,35$  мм/об,  $v=150$  м/мин. Оптимизировали величину давления воздуха, схему расположения сопел, расстояние сопел от зоны резания, ток электрического разряда. Критерием оптимальности параметров ИГС служила величина фаски износа задней поверхности инструмента  $h_3=0,5$  мм.

### Выводы

1. При токарной обработке из возможных вариантов подвода ИГС к зоне резания (рис. 1) наилучшие показатели по износостойкости инструмента были получены при подаче ИГС под давлением со стороны передней и задней поверхностей одновременно (рис. 2 в).

2. При установлении оптимальной величины расстояния от сопел до инструмента установлено, что максимальную износостойкость имел инструмент, расположенный от сопла на расстоянии  $l=40-50$  мм.

3. При давлении ИГС порядка  $p=0,3$  МПа, износостойкости при давлении  $p=0,3$  МПа (рис. 2) инструмент имел максимальную износостойкость.

4. При проведении исследований по оценке оптимального значения тока коронного разряда устройства для ионизации газовой среды (воздуха) было установлено, что максимальное значение износостойкости обеспечивается при  $I_k=50$  мкА (рис. 3).

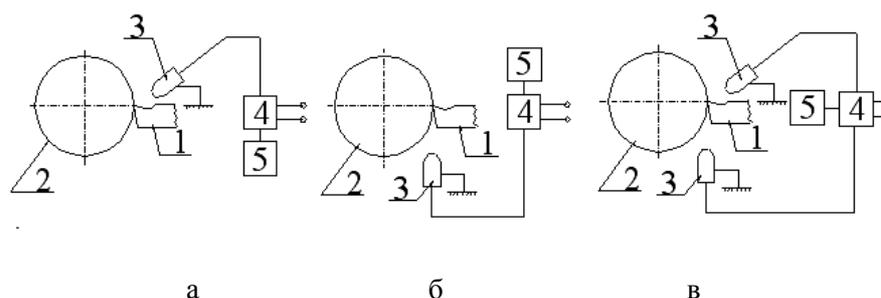


Рис. 1. Возможные варианты подачи ИГС в зону резания: а – со стороны передней поверхности, б – со стороны задней поверхности, в – одновременно на переднюю и заднюю поверхность:  
1 – резец, 2 – обрабатываемый материал, 3 – плазмотрон, 4 – источники электроэнергии, 5 – система подачи сжатого воздуха

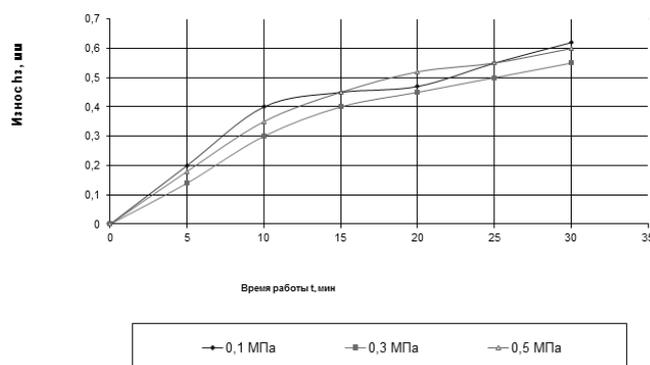


Рис. 2. Зависимость износа инструмента  $I_z$  от времени резания  $t$  при различном давлении ИГС

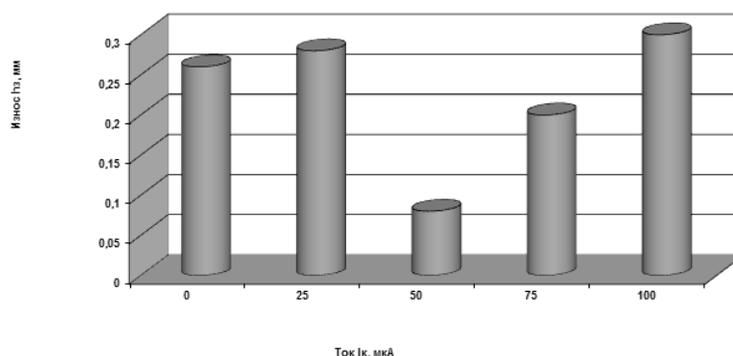


Рис. 3. Влияние тока на износ твердосплавного инструмента при продольном точении.  
Режим резания:  $V=150$  м/мин,  $S=0,1$  мин<sup>-1</sup>,  $t=0,5$  мм,  $T=5$  мин

При исследовании режущих свойств твердосплавных пластин ВК6 без покрытия и с покрытием при продольном точении жаропрочного сплава ХН77ТЮР было установлено, что на скорости резания  $V=18$  м/мин (рис. 4) применение технологии ЭБР (комбинированное применение ИГС и инструмента с многофункциональным покрытием) позволяет обеспечить более высокую стойкость инструмента не только по сравнению со стойкостью инструмента при сухом резании, но и при резании инструментом с покрытием, с жидкой СОТС и с ИГС (рис. 4).

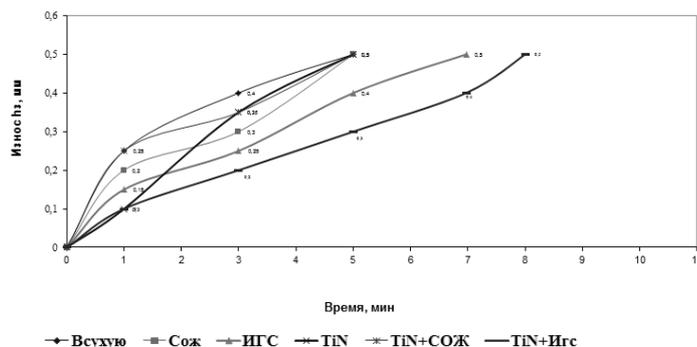


Рис. 4. Зависимость износа hz от времени при точении ХН77ТЮР пластинами ВК6 ( $V=18$  м/мин,  $S=0,15$  мм/об,  $t=1$  мм)

Аналогичные исследования по выявлению возможности применения технологии ЭБР для резания труднообрабатываемых материалов были проведены при торцовом симметричном фрезеровании однозубым инструментом (для исключения влияния таких факторов, как торцовое и осевое биение фрезы и т.д.) никелевых сплавов.

**Заключение.** Разрабатываемая технология экологически безопасного резания (ЭБР) имеет хорошую перспективу заменить традиционные технологии обработки с использованием различных типов СОТС, которые являются основной причиной вредного техногенного воздействия на окружающую среду и ухудшения экономических показателей обработки.

Кинетическая и потенциальная энергия элементов газовой среды (например, воздуха) при их активации коронным разрядом достигает величины, при которой ослабевают или разрываются связи в молекулах с образованием весьма активных атомов и радикалов, что приводит к эффектам «химического смазывания» при резании. Поэтому активированную газовую среду при относительно невысокой степени ионизации составляющей, можно рассматривать как некий активированный комплекс с высокой проникающей способностью и возможностью формирования устойчивых химических и физических пленок, адаптированных под уровень энергетического воздействия, соответствующий условиям процесса резания. *В этом отношении активированная газовая среда может компенсировать смазочные эффекты СОТС.*

Таким образом, *ионизированная газовая среда способна частично компенсировать охлаждающие эффекты СОТС.*

Разрабатываемая технология ЭБР может быть рекомендована для полустойкой и чистой обработки заготовок из труднообрабатываемых материалов.

### Библиография

1. Кириллов А.К., Верещака А.С., Дюбнер Л.Г. Разработка системы экологически безопасной формообразующей обработки резанием // Резание и инструмент в технологических системах. Вып. 60. Харьков: ХГТУ, 2001. С. 96–102.
2. Клокке Ф., Гершвилер К. Сухая обработка – основы, границы, перспективы: сообщение VDI 1240 «На пути к сухой обработке – технологический вызов». Дюссельдорф: VDI, 1996. С. 1–39.
3. Верещака А.С., Полоскин В.Ю., Кириллов А.К., Хаустова О.Ю. Анализ проблемы использования экологически безопасного сухого резания // Высокие технологии: тенденции развития: материалы XII международного научно-технического семинара. Харьков-Алушта: НТУ ХПИ, 2002. С. 9–16.
4. Верещака А.С. Анализ проблемы экологически безопасного резания // Труды IV международного конгресса «Конструкторско-технологическая информатика 2000». М.: СТАНКИН, 2000. С. 112–115.
5. Верещака А.С., Кириллов А.К., Хаустова О.Ю. Основные аспекты проблемы применения экологически безопасного сухого резания. Производство. Технология. Экология // «Протек-2002»: труды международной научно-практической конференции. Т. 1. М.: Янус-К, 2002. С. 112–123.

## К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА АЛМАЗНЫХ ШЛИФПОРОШКОВ

\*Хапачев Б.С., Маришев М.Х., Атаев П.Л., Бозиев О.Х.

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова*

\*itf@mail.ru

*Отмечена необходимость повышения качественных характеристик алмазных порошков по зерновому составу. Показано, что применяемый в настоящее время в промышленности ситовый метод мало способствует стабилизации их зернового состава. Сделан вывод о необходимости разработки эффективных методов классификации алмазных порошков по зернистости.*

**Ключевые слова:** алмаз, качество алмазных порошков, ситовый метод классификации, зерновой состав, измерение размеров зерна.

## TO THE DEFINITION OF DIAMOND MICROGRIT GRAIN DISTRIBUTION

**Khapachev B.S., Marishev M.K., Lukozhev A.A.**

*Kabardino-Balkarian State University*

*The need to improve qualitative characteristics of the diamond powders in grain composition is noted. It is shown that the sieve method of natural and synthetic diamond powders classification, currently applied in industry, contributes little to their grain composition stabilization. It is concluded that there is a need to develop effective methods for classifying diamond powders according to their granularity.*

**Keywords:** diamond, diamond powders quality, sieve method of classification, grain composition, grain size measurement.

Промышленное производство синтетических алмазов и инструментов из них обусловило ускоренное развитие машиностроения, способствовало повышению качества продукции и производительности оборудования. Потребность инструментального производства в порошках из сверхтвердых материалов возрастает, повышаются требования к прочности, форме зерен и абразивной способности. Это обуславливает необходимость разработки новых технологических процессов изготовления алмазных порошков, а также установок, обеспечивающих выпуск высококачественных порошков из синтетического алмаза. С целью повышения качества порошков используют специальные методы обработки [1–3].

В процессе эксплуатации инструмента алмазное зерно подвергается значительным динамическим силовым и температурным нагрузкам, поэтому его прочностные свойства и способность сопротивляться совместно со связкой разупрочнению под циклическим воздействием силовых и температурных факторов существенно влияют на ресурс инструмента.

Для обеспечения необходимого качества порошков, удовлетворяющего современным техническим требованиям в соответствии с действующими стандартами, производится контроль качественных характеристик порошков по зерновому составу, прочности и абразивной способности [4, 5].

Основным методом классификации шлифпорошков природных и синтетических алмазов, применяемых в настоящее время в промышленности, является рассев с применением плетеных проволочных сит, совершающих колебательные движения от эксцентрикового механизма [4]. Результаты классификации на ситах зависят как от технических данных машины, так и от характерных особенностей классифицируемого материала.

Недостатком классификации шлифпорошков на виброситах является забивка ячеек сита зернами классифицируемого материала, что приводит к существенному уменьшению живого сечения сита, а следовательно, к снижению производительности отсева и качества классификации. К недостаткам применения сит для отсева шлифпорошков по зернистости следует также отнести прохождение через ячейки удлиненных кристаллов в вертикальном положении. Поэтому длина прошедших через ячейки сита зерен шлифпорошков мало зависит от размеров ячейки, что приводит к появлению в партии, прошедшей сортировку, значительного количества зерен крупной и предельной фракций.

Для оценки степени соответствия фактических размеров зерен размерам сторон ячеек сита в свете выполнили сортировку по зернистости кристаллов шлифпорошка, полученных путем дробления синтетических поликристаллических алмазов типа «спеки», т.е. шлифпорошка, состоящего из зерен, имею-

щих различные размеры [6]. Для отсева использовали проволочные плетеные сита с размерами сторон ячеек 1250 и 1000 мкм. Измерение размеров зерен (длины и ширины) выполняли на малом инструментальном микроскопе МИМ-2 (цена деления шкалы барабанов продольной и поперечной подач стола 0,005 мм). Высоту зерен измеряли с помощью специального приспособления, оснащенного индикатором часового типа (цена деления шкалы индикатора 0,01 мм). В ходе эксперимента определяли размеры 100 зерен, прошедших сортировку с использованием проволочных сит. Результаты измерения размеров синтетических поликристаллических кристаллов алмаза представлены в таблице.

Таблица

Размеры кристаллов поликристаллического алмаза зернистости 1250/1000

№ п/п	Длина кристалла, мм	Ширина кристалла, мм	Высота кристалла, мм	№ п/п	Длина кристалла, мм	Ширина кристалла, мм	Высота кристалла, мм
1	2,50	1,44	1,13	51	2,63	1,42	0,73
2	1,78	1,47	0,84	52	1,81	1,47	0,85
3	1,71	1,45	0,94	53	1,94	1,32	0,79
4	2,02	1,58	0,80	54	2,35	1,56	1,07
5	2,20	1,27	0,91	55	1,78	1,31	0,87
6	1,70	1,18	0,95	56	2,14	1,62	1,12
7	1,90	1,60	1,09	57	1,84	1,45	0,92
8	1,89	1,57	0,99	58	1,71	1,24	0,70
9	2,08	1,56	0,88	59	1,99	1,46	0,82
10	2,13	1,60	0,95	60	2,41	1,33	1,03
11	1,85	1,41	0,97	61	2,05	1,46	0,93
12	2,23	1,59	1,12	62	2,17	1,56	0,68
13	1,74	1,18	1,01	63	2,01	1,46	1,04
14	1,83	1,45	0,89	64	2,57	1,26	0,87
15	1,87	1,38	0,79	65	1,57	1,23	0,65
16	2,03	1,46	0,93	66	1,76	1,61	0,79
17	2,09	1,44	0,82	67	2,17	1,44	0,89
18	1,74	1,28	0,91	68	2,04	1,51	1,06
19	1,88	1,45	0,78	69	1,88	1,46	1,02
20	1,69	1,34	0,85	70	1,93	1,28	0,64
21	1,95	1,46	0,89	71	1,82	1,47	0,83
22	2,10	1,45	1,12	72	2,37	1,58	0,97
23	2,21	1,32	0,74	73	2,43	1,39	1,11
24	1,69	1,51	0,63	74	2,06	1,57	0,73
25	2,27	1,59	0,69	75	2,19	1,43	0,84
26	1,85	1,37	0,84	76	1,72	1,16	0,74
27	2,03	1,46	0,82	77	1,86	1,29	0,67
28	1,80	1,41	0,73	78	2,02	1,44	0,78
29	1,75	1,48	0,95	79	2,52	1,31	0,86
30	2,11	1,56	1,01	80	2,12	1,72	1,05
31	2,17	1,53	0,81	81	1,96	1,34	0,85
32	1,91	1,62	0,75	82	1,64	1,42	0,93
33	2,05	1,56	0,92	83	2,37	1,46	0,98
34	2,18	1,17	1,22	84	2,50	1,58	0,85
35	1,77	1,23	0,71	85	2,16	1,48	0,80
36	1,96	1,45	0,88	86	1,76	1,61	0,74
37	2,16	1,37	1,04	87	1,57	1,16	1,04
38	2,10	1,51	1,01	88	2,00	1,51	0,91
39	1,93	1,45	0,86	89	1,78	1,46	0,81
40	1,84	1,53	0,74	90	2,37	1,40	1,06
41	1,83	1,60	0,94	91	1,99	1,57	0,97
42	2,20	1,39	1,07	92	1,98	1,37	0,70
43	2,09	1,60	0,94	93	1,97	1,28	0,59
44	1,75	1,36	0,68	94	2,02	1,47	0,88
45	2,48	1,25	0,85	95	1,84	1,53	0,82
46	1,86	1,56	0,73	96	1,90	1,31	0,76
47	1,78	1,34	0,84	97	2,27	1,62	0,91
48	1,63	1,31	0,87	98	1,76	1,16	0,75
49	1,64	1,23	1,19	99	1,89	1,44	0,66
50	2,45	1,05	1,01	100	2,37	1,59	1,08

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что в процессе классификации алмазных шлифпорошков с использованием плетеных сит, зерна проходят через ячейки в вертикальном положении. Как видно из таблицы, все значения длины измеренных зерен (минимальная длина 1,57 мм) существенно превышают размер ячейки верхнего сита (1250 мкм). Средний размер длины зерен шлифпорошков, прошедших рассев с применением метода ситового анализа, в 1,6 раза больше размера ячейки верхнего сита (отношения минимальной и максимальной длины кристаллов, полученных после отсева, к величине ячейки составили 1,25 и 2,10). Это свидетельствует о том, что длина прошедших классификацию зерен шлифпорошков практически не зависит от размеров ячейки сита. Поэтому использование ситового метода приводит к появлению в партии, прошедшей сортировку, значительного количества зерен крупной и предельной фракций.

Следует отметить, что значения ширины кристаллов, полученных в эксперименте, также свидетельствуют о вертикальном прохождении зерен через ячейки сита. Так, сравнения значений ширины кристаллов с размером диагонали (1600 мкм) квадратной ячейки верхнего сита показывают, что зерна проходят через сита вертикально по диагонали ячейки: практически все размеры ширины зерен (см. таблицу) меньше указанного значения диагонали ячейки. Что касается значений высоты исследованных кристаллов, они мало зависят от размеров ячеек сита, используемого в процессе классификации, поскольку рассев зерен шлифпорошков при использовании ситового метода идет по размеру, имеющему из двух значений наибольшее, т.е. по ширине зерна.

Таким образом, полученные результаты (измерения трех параметров зерен) свидетельствуют о том, что использование ситового метода контроля размеров зерен алмазно-абразивных шлифпорошков мало способствует стабилизации их зернового состава. Это обусловлено тем, что при классификации шлифпорошков из сверхтвердых материалов с использованием проволочных сит кристаллы проходят через сита в вертикальном положении. Другими словами, метод ситового анализа зернистости алмазных шлифпорошков не позволяет получить практически однородную по зерновому составу партию кристаллов из сверхтвердых материалов. Это предполагает необходимость разработки эффективных методов классификации порошковых материалов по зернистости, повышающих однородность их зернового состава, а следовательно, срок службы и конкурентоспособность алмазно-абразивных инструментов.

### **Библиография**

1. Хапачев Б.С. и др. Установка для классификации сыпучих материалов по высоте // Вестник КБГУ. Сер. Технические науки. Вып. 6. Нальчик, 2008. С. 44–46.
2. Тхагапсоев Х.Г., Яхутлов М.М., Ошхунов М.М., Хажуев В.Ш. К вероятностно-статистической оценке прочностных свойств алмазных порошков // Сверхтвердые материалы. № 4. Киев, 1987. С. 44–47.
3. Беров З.Ж., Карданов А.А., Карамурзов Б.С., Яхутлов М.М., Осецкий А.И. Исследование влияния качества алмазного сырья на эффективность использования металлизированных алмазов // Сверхтвердые материалы. 1995. № 5. С. 39–45.
4. Никитин Ю.И. Технология изготовления и контроль качества алмазных порошков. Киев: Наук. думка, 1984. 264 с.
5. Никитин Ю.И., Прихна А.И. и др. Методы контроля качества алмазных порошков // Синтет. алмазы. 1970. Вып. 6. С. 17–22.
6. Хапачев Б.С., Бозиев О.Х. К рассеву шлифпорошков из сверхтвердых материалов // Наука, техника и технология XXI века (НТТ-2009): материалы IV Международной научно-технической конференции. Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 2009. С. 92–95.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНТАКТИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА И ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ САМ-ПРОГРАММ

Нестеров С.А.

*Пензенский государственный университет, НОЦ «Новые технологии»*

nesterovs@list.ru

*Статья посвящена рассмотрению вопросов о создании теоретической базы при формировании программных продуктов по генерированию программ для станков с ЧПУ фрезерной группы.*

**Ключевые слова:** генерация траекторий инструмента, программные продукты, станки с ЧПУ.

## MATHEMATICAL MODEL OF CONTACTING THE TOOL AND WORK SURFACE BY IMPLEMENTING CAM-PROGRAMS

Nesterov S.A.

*Penza State University, SEC «New technologies»*

*The article discusses issues on the establishment of a theoretical framework by the formation to generate software programs for CNC milling group.*

**Keywords:** tool path generation, software, CNC machines.

Программирование станков с ЧПУ в современном производстве выполняется с применением CALS-технологий (Continuous Acquisition and Lifecycle Support – непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла изделий) и специализированных программных продуктов САМ-класса (Computer-aided manufacturing – подготовка технологического процесса производства изделий) [1, 2].

Одной из задач САМ-систем является генерация траекторий перемещения инструмента. Для ее реализации могут использоваться различные подходы и методы. Одним из таких подходов является определение математической модели контактирования инструмента и обрабатываемой поверхности для последующего построения траектории движения инструмента.

Рассмотрим алгоритм решения задачи по проверке алгоритма контактирования в случае представления геометрических моделей в виде полигонов:

1. Разбиваем предполагаемый путь движения инструмента на итерационные участки.

2. В геометрии модели просматриваем каждый полигон и проверяем, пересекается ли полигон инструмента с ним.

3. Если нет ни одного пересечения, то построение траектории переходит на следующий шаг. Могут быть кратные столкновения, поэтому важно проверить все полигоны.

4. В случае если есть пересечения, вычисляем смещение, которое двигает инструмент от плоскости, с которой произошел контакт к следующему полигону.

Проанализируем метод проверки пересечения прямой (отрезка) и полигона, который можно использовать в качестве проверки на столкновение инструмента с моделью детали.

Рассмотрим проверку на пересечение прямой и плоскости полигона. Алгоритм работы следующий:

1. Выстраивается вектор нормали к плоскости.

2. Рассчитывается расстояние от начала координат до плоскости через вектор нормали к плоскости и любой точкой на этой плоскости.

3. Рассчитывается расстояние от одной из конечных точек данного отрезка до плоскости используя известную формулу:  $Ax + By + Cz + D = (\text{расстояние до плоскости})$ , где  $D$  – расстояние от начала координат до нашей плоскости.

4. Аналогично получается расстояние от второй точки нашего отрезка.

5. Сравниваются два расстояния от нашей плоскости полигона до концов отрезка. Если при перемножении получится отрицательное число, значит, имеет место перемещение, так как обе точки должны лежать по обеим сторонам плоскости (например,  $-1 * 1 = -1$ ).

6. Если расстояния до обеих точек имеют один знак – точки лежат по одну сторону (например, при расстояниях  $(-1; -2)$  или  $(3;4)$  точки лежат по одну сторону, а при  $(-1; 1)$  – по разные) – пересечения нет.

Рассмотрим способ нахождения точки пересечения прямой и плоскости:

1. Получаем вектор нашей прямой, затем нормализуем его (т.е. изменяем длину на 1). Далее выберем произвольную точку на прямой.

2. Используем уравнение плоскости (расстояние =  $Ax + By + Cz + D$ ), для нахождения расстояния от одной из точек на прямой до плоскости (для этого используем скалярное произведение нормали к плоскости и нашей произвольной точки прямой + расстояние от начала координат до плоскости – его получаем в качестве параметра функции).

3. Получаем скалярное произведение между вектором прямой и вектором нормали к плоскости (это будет  $\cos$  угла между ними). Так как используется деление, необходимо убедиться в отсутствии ошибки деления на ноль. Если в знаменателе 0, это означает, что существует бесконечно много искомым точек, то есть, что прямая будет лежать в плоскости (вектор нормали перпендикулярен прямой). В этом случае нам нужно вернуть любую точку на прямой.

4. Для получения расстояния от произвольной точки до точки пересечения (см. рисунок), делим расстояние от одной из точек на прямой до плоскости, найденное выше на скалярное произведение ( $\cos$  угла). Можно заметить, что деление производится на  $\cos$  внешнего угла треугольника, поэтому для корректировки вводим инверсию (умножаем числитель на  $-1$ ), т.к.  $\cos a = -\cos(\pi - a)$ .

5. Находим искомую точку, перемножая найденное расстояние на вектор прямой и добавляя к позиции выбранной произвольной точки.

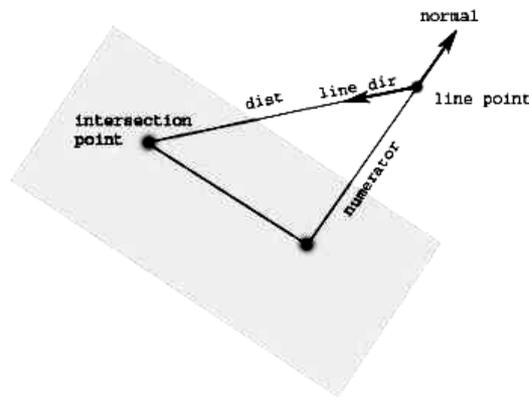


Рисунок. Схема к расчету точки контакта прямой и плоскости

Рассмотрим проверку пересечения прямой и полигона, а также нормаль и расстояние, найденные функцией пересечения прямой и плоскости для вычисления точки пересечения. Полученную точку пересечения проверяем на нахождение внутри полигона.

Рассмотренная модель контактирования может быть использована для создания программного модуля генерирования траекторий станков с ЧПУ фрезерной группы.

### Библиография

1. Носов Н.В., Зверовщиков В.З., Машков А.Н., Бодин Б.В., Нестеров С.А. Имитационное моделирование в машиностроении. Пенза: ПензГУ, 2010. 240 с.
2. Шептунов С.А. Жизненный цикл продукции. М.: Машиностроение, 2003. 244 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ  
ЗЕРНО–ТВЕРДОСПЛАВНАЯ МАТРИЦА АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА**

**\*Яхутлов М.М., Карамурзов Б.С., Батыров У.Д., Тлибеков А.Х., Карданова М.Р., Гутов А.А.**

*Кабардино-Балкарский государственный университет*

\*martin\_yah@mail.ru

*Проведено моделирование напряженно-деформированного состояния в системе зерно–матрица при силовой нагрузке, изменяющейся по гармоническому закону. Для алмазного инструмента на твердосплавной матрице получены амплитудно-частотные характеристики системы. Проведен анализ влияния параметров системы на частоты собственных колебаний.*

**Ключевые слова:** алмаз, матрица, математическая модель, напряженно-деформированное состояние, частотные характеристики.

**RESEARCH OF FREQUENCY CHARACTERISTICS  
OF THE SYSTEM GRAIN–HARD ALLOY MATRIX OF DIAMOND TOOLS**

**Yakhutlov M.M., Karamurzov B.S., Batyrov U.D., Tlibekov A.Kh., Kardanova M.R., Gutov A.A.**

*Kabardino-Balkarian State University*

*The stress-strain state was modeled in the grain-matrix system under the power load. Power load varies harmonically. Amplitude-frequency characteristics of the system for diamond tools on hard alloy matrix were obtained. Analysis of the influence of system parameters on natural vibration frequencies was held.*

**Keywords:** diamond, matrix, mathematical model, stress-strain state, frequency characteristics.

Известно, что алмазно-абразивные инструменты работают преимущественно в условиях воздействия переменных силовых и температурных факторов, которые существенно влияют на работоспособность инструмента. Под действием этих нагрузок в кристаллах алмаза прогрессируют имеющиеся трещины и образуются новые, возрастает износ инструмента, обусловленный выпадением зерна из матрицы вследствие усталостного разрушения материала связки на границе с алмазом. Исследования и опыт эксплуатации инструментов свидетельствуют о том, что чем тяжелее условия эксплуатации алмазного инструмента, тем большую роль играет износ от выпадения алмаза. Указанными обстоятельствами и объясняется известная низкая степень реализации потенциального ресурса этих инструментов [1].

Таким образом, прочность и надежность алмазоудержания в значительной степени определяются напряженно-деформированным состоянием в системе зерно–матрица при действии переменных силовых и температурных факторов эксплуатации инструмента.

Анализ показывает, что подавляющее большинство известных работ посвящено исследованию напряженно-деформированного состояния в системе с использованием методов моделирования (что определяется особенностями объекта) при действии статических нагрузок [2–4]. Это связано, с одной стороны, со сложностью экспериментальных исследований, а с другой – сложностью математических моделей для теоретических исследований.

В работе [4] проведены исследования колебаний абразивного зерна при шлифовании с использованием аналитической модели в виде колебательной системы с одной степенью свободы и демпфированием, пропорциональным скорости перемещения зерна в форме шара. Автором получены формулы для расчета перемещений зерна в зоне контакта для различных форм импульса силы резания, встречающихся при шлифовании. Однако существенные упрощения объекта при составлении аналитической модели не обеспечивают определения показателей качества системы с требуемой точностью. Решение динамической задачи теории упругости методом конечных элементов для системы зерно–матрица абразивного инструмента при ударной нагрузке представлено в работе [5]. Разработанная математическая модель позволяет определять коэффициенты динамичности системы по перемещениям и напряжениям.

Настоящая работа посвящена численному моделированию напряженно-деформированного состояния в системе зерно–матрица алмазно-абразивного инструмента при силовой нагрузке, изменяющейся по гармоническому закону. Рассматривается двухмерная конструкция, нагруженная сосредоточенной

силой  $P = P_0 \sin(\omega\tau)$ , приложенной под углом к вертикальной оси зерна эллипсоидной формы на его свободном (выступающем из матрицы) контуре. Компоненты напряженно-деформированного состояния определяются на основе решения динамической задачи теории упругости методом конечных элементов [6, 7].

На этапе разработки программного обеспечения, реализующего алгоритмы расчета, проведено исследование и обоснование достоверности получаемых результатов. В частности, исследования резонансов конструкции в зависимости от числа конечных элементов показали, что для определения низших частот собственных колебаний требуется меньшее количество конечных элементов, чем для определения компонентов напряженного состояния. Это связано с тем, что частоты собственных колебаний являются интегральными характеристиками конструкции.

В качестве базовых исходных данных при исследованиях были приняты параметры модели, характерные для условий работы камнеобрабатывающих и буровых алмазных инструментов на твердосплавной матрице. Размеры конструкции (мм): полуоси зерна  $a=0,5$  и  $b=0,75$ ; глубина погружения зерна  $h=0,25$ ; толщина конструкции – 1,0. Физические свойства элементов конструкции приведены в таблице.

Таблица

Физические свойства элементов конструкции

Материал	Плотность, $\rho \times 10^{-3}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Модуль упругости, $E, \text{ГПа}$	Коэффициент Пуассона, $\nu$
Алмаз	3,52	900	0,072
Матрица	10	300	0,30

Первоначальные расчеты в диапазоне частот возбуждения  $0 \leq \omega \leq 8 \times 10^6$  Гц показали, что амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) имеет несколько резонансных пиков, соответствующих собственным частотам колебаний. Затем была проведена детализация АЧХ в диапазоне  $0 \leq \omega \leq 3 \times 10^6$  Гц. В данном диапазоне, согласно протоколу решения задачи (смена знака определителя системы алгебраических уравнений), конструкция имеет шесть собственных частот, расположенных в следующих диапазонах ( $\omega_1^* \times 10^{-6}$ ):

$$1.325 \leq \omega_1^* \leq 1.350; \quad 1.650 \leq \omega_2^* \leq 1.675;$$

$$1.900 \leq \omega_3^* \leq 1.925; \quad 2.750 \leq \omega_4^* \leq 2.775;$$

$$2.875 \leq \omega_5^* \leq 2.900; \quad 2.975 \leq \omega_6^* \leq 3.000.$$

На рис. 1 показана амплитудно-частотная характеристика в зоне низшей собственной частоты. Прямая линия соответствует результатам статического расчета ( $\omega = 0$ ).

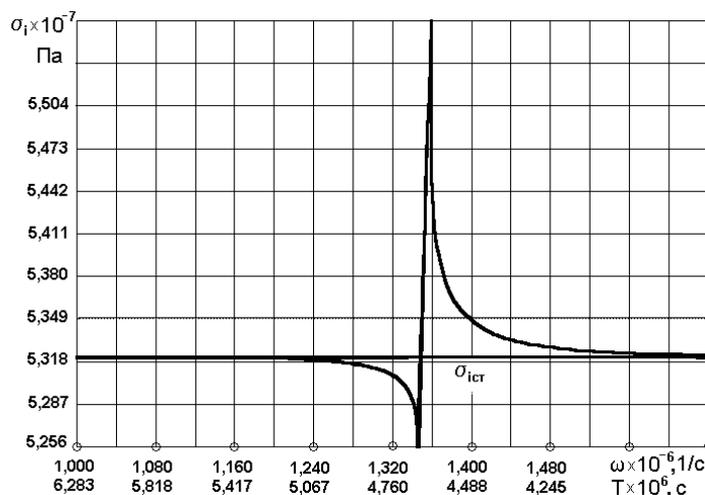


Рис. 1. Амплитудно-частотная характеристика для интенсивности напряжений в зоне приложения возмущающей силы

Таким образом, численные эксперименты показали, что заметно «раскачать» рассматриваемую конструкцию синусоидальной нагрузкой можно лишь в диапазоне круговых частот

$$\omega_{\min} > 1,3 \times 10^6 \text{ с}^{-1},$$

т.е. синусоидальной нагрузкой с периодом  $\approx 5 \times 10^{-6} \text{ с}$ .

Проведены исследования влияния параметров системы зерно–матрица на частоты собственных колебаний. Исследования показали, что частоты собственных колебаний системы определяются в основном размерами зерна, плотностью и модулем упругости материала матрицы. На рис. 2 показана зависимость низших частот собственных колебаний системы от размеров зерна.

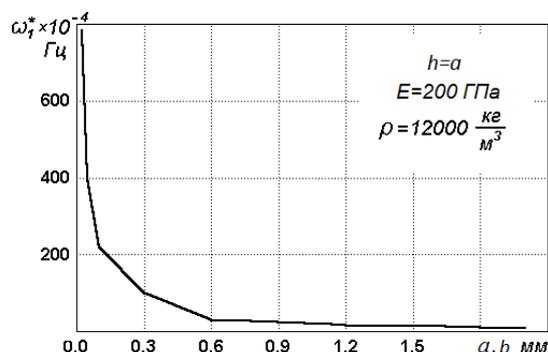


Рис. 2. Зависимости низшей частоты собственных колебаний системы от размера зерна

регулярную последовательность треугольных импульсов с периодом 0,002–0,005 с и различной высоты амплитудами. В момент пересечения трещины возникает одиночный треугольный импульс нагрузки с амплитудой  $\approx 60 \text{ Н}$  и длительностью  $\approx 0,005 \text{ с}$ . Анализ условий и режимов обработки камнеобрабатывающими инструментами также показывает, что частоты вынужденных колебаний, определяемые прерывистостью процесса обработки, также значительно ниже определенных выше значений низших частот собственных колебаний исследуемой системы.

Численные эксперименты в широких диапазонах параметров системы показали, что минимально возможные значения низших частот собственных колебаний системы примерно равны  $4 \times 10^4 \text{ Гц}$ .

Проведен анализ динамических нагрузок на систему зерно–матрица, имеющих место при эксплуатации рассматриваемых инструментов [8, 9]. Так, в работе [9] приведены экспериментальные осциллограммы усилий резания единичным алмазным зерном трещиноватых пород: габбро, альбитофира, перидотита. Фрагменты осциллограмм приведены на рис. 3. Эти осциллограммы представляют собой достаточно

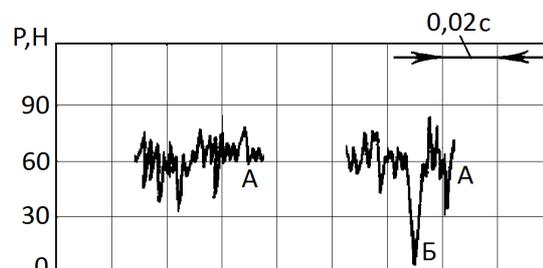


Рис. 3. Фрагменты осциллограммы усилий резания альбитофира: А – нормальная работа алмаза; Б – пересечение трещины

### Библиография

1. Инструменты из сверхтвёрдых материалов / под ред. Н.В. Новикова. М.: Машиностроение, 2005. 555 с.
2. Яхутлов М.М. Исследование напряженно-деформированного состояния структуры алмазных инструментов // Станки и инструмент. 2001. № 11. С. 23–26.
3. Яхутлов М.М., Карамурзов Б.С., Батыров У.Д., Ошхунов М.М., Карданова М.Р. Напряженно-деформированное состояние системы зерно–матрица алмазного инструмента при силовых возмущениях // Сверхтвёрдые материалы. 2009. № 6. С. 81–88.
4. Курдюков В.И. Научные основы проектирования абразивного инструмента. Курган: Курганский ун-т, 2005. 159 с.
5. Карданова М.Р. Решение двумерной динамической задачи теории упругости методом конечных элементов // Информационные технологии в промышленности и экономике. Труды ИКТИ РАН. Вып. 4 / под ред. Ю.М. Соломенцева. М.: Янус-К, 2004. С. 235–237.
6. Яхутлов М.М., Карамурзов Б.С., Батыров У.Д., Беров З.Ж. Моделирование напряженно-деформированного состояния системы зерно–матрица при динамическом нагружении // Вестник Кабардино-Балкарского государственного университета. Сер. Технические науки. Вып. 6. Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 2008. С. 36–40.
7. Ошхунов М.М., Нагоев З.В. Математические модели деформируемых сред для интеллектуальных систем виртуального прототипирования. Нальчик: КБНЦ РАН, 2013. 196 с.
8. Хапачев Б.С. К определению температуры резания при обработке природного камня алмазным инструментом // Материалы V Международной научно-технической конференции «Наука, техника и технология XXI века (НТТ-13)». Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 2013. С. 90–96.
9. Корнилов Н.И., Блинов Г.А., Курочкин П.Н. Технология бурения скважин алмазным инструментом при высоких скоростях вращения. М.: Недра, 1978. 238 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРОТЕКТОРНОЙ ПИТТИНГ-ЗАЩИТОЙ

Лось И.С.<sup>1</sup>, \*Киреев С.Ю.<sup>1</sup>, Перелыгин Ю.П.<sup>1</sup>, Розен А.Е.<sup>1</sup>, Харина И.Л.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Пензенский государственный университет

<sup>2</sup>ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»

\*silverelk@yandex.ru

*Описан новый класс многослойных металлических коррозионно-стойких материалов, полученных сваркой взрывом. Проведены исследования коррозионного поведения многослойного материала 12X18H10T+Ст3+12X18H10T в условиях различной кислотности раствора (pH) и температуры. Установлено, что наибольшая скорость растворения протектора наблюдается в кислой среде. Рассчитана энергия активации.*

**Ключевые слова:** коррозия, многослойный материал, электрохимический потенциал, протектор.

## THE CORROSION BEHAVIOR OF MULTILAYER METALS WITH SACRIFICIAL PITTING PROTECTION

Los I.S.<sup>1</sup>, Kireev S.Y.<sup>1</sup>, Perelygin Y.P.<sup>1</sup>, Rozen A.E.<sup>1</sup>, Kharina I.L.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Penza State University

<sup>2</sup>PJSC SPA «CNIITMASH»

*The new class of multilayer metal materials by explosive welding is described. The investigation of corrosion behavior of multilayer metal material 12Cr18Ni10Ti+St3+12Cr18Ni10Ti is carried out for different pH solution and temperature. It is determined that the maximal rate solution of protection corresponds to acid media. The activation energy is calculated.*

**Keywords:** corrosion, multilayer material, electro-chemical potential, protection.

**Введение.** Проблема защиты металлов от коррозии существует в течение последних десятилетий. Потери от коррозии исчисляются миллиардами долларов в год и составляют от 3 до 5 % от ВВП в развитых странах [1]. Большое значение в решении этой задачи отводится разработке новых коррозионно-стойких материалов. В 2008 г. учеными Пензенского государственного университета и ИСМАН РАН (г. Черноголовка, Московская область) была подана международная заявка на патент «Многослойный материал повышенной коррозионной стойкости и способ его получения» [2]. В заявке предложен новый класс многослойных коррозионно-стойких материалов, предназначенных для длительной эксплуатации в агрессивных средах различного состава. Получены патенты Евразийской патентной организации, Украины, Кореи [3–5]. В настоящей работе рассмотрен металлический многослойный материал 12X18H10T+Ст3+ 12X18H10T, полученный сваркой взрывом.

**Целью** работы является изучение коррозионного поведения многослойного материала 12X18H10T + Ст3 + 12X18 H10T в средах с различными показателями pH.

**Теоретическая часть.** Суть заявленного и запатентованного изобретения состоит в следующем. Известны и широко применяются электрохимические способы защиты металлов от коррозии, в частности катодная защита [6]. Одним из методов катодной защиты является протекторный метод, основанный на применении жертвенных анодов-протекторов, которые располагают на поверхности защищаемого металла на некотором расстоянии друг от друга. Запатентованный многослойный материал имеет, по крайней мере, три слоя. Состав слоев выбирают в зависимости от состава среды и электрохимических потенциалов металлов, составляющих слои. Принципиально новым является расположение протектора между защищаемыми слоями. Многослойный материал может быть приспособлен для одностороннего или двустороннего контакта с агрессивной средой или средами, имеющими различный состав. Агрессивные модельные или реальные среды могут содержать или не содержать водные растворы щелочей, солей кислот или кислот, анионы которых являются окислителями.

Для многослойного материала в качестве материала первого (наружного) слоя, контактирующего с рабочей неокислительной средой, выбирается такой металл или сплав, который имеет достаточно высо-

кую коррозионную стойкость и проявляет пассивность в данной среде. Материал первого слоя характеризуют анодная  $A_1$  и катодная  $K_1$  кривые (рис. 1). При контакте со средой на нем устанавливается стационарный потенциал  $E_1$ .

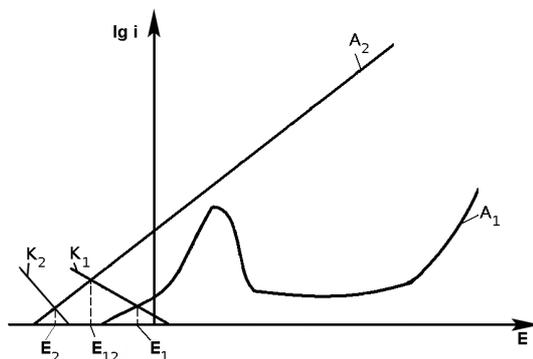


Рис. 1. Схематичное расположение поляризационных кривых металлов в многослойном материале:  $K_1, K_2$  – катодные кривые наружного слоя и протектора;  $A_1, A_2$  – анодные кривые соответственно

В результате действия среды в наружном слое возникают очаги поражения в виде питтинга, которые с течением времени увеличивают глубину и достигают второго слоя. Материал второго слоя выбирается таким образом, чтобы величина его стационарного электрохимического потенциала  $E_2$  в условиях контакта с рабочей средой была ниже стационарного электрохимического потенциала металла первого слоя. Состояние материала второго слоя – протектора характеризуют анодная  $A_2$  и катодная  $K_2$  кривые.

При достижении питтингом металла второго слоя устанавливается стационарный потенциал  $E_{12}$ , обусловленный контактной разностью потенциалов металла первого и второго слоев. При этом металл второго становится анодом, а металл первого слоя – катодом. Второй слой становится протектором, т.е. жертвенным электродом и постепенно растворяется. Реакция анодного растворения может протекать до образования в протекторе полости значительных размеров – линзы. На материале первого слоя в зависимости от состава среды происходит выделение водорода, восстановление кислорода или другие электрохимические реакции. Состав третьего слоя аналогичен первому.

По мере растворения протектора увеличивается как поперечный размер, так и глубина линзы. Когда в контакт с раствором вступает третий слой, он также становится катодом, как и первый. Скорость коррозии второго слоя может увеличиться и будет при этом протекать вплоть до полного растворения протектора. На рис. 2 показана схема развития коррозии в многослойном материале в среде, содержащей водные растворы щелочей, солей кислот или кислот, анионы которых не являются окислителями.

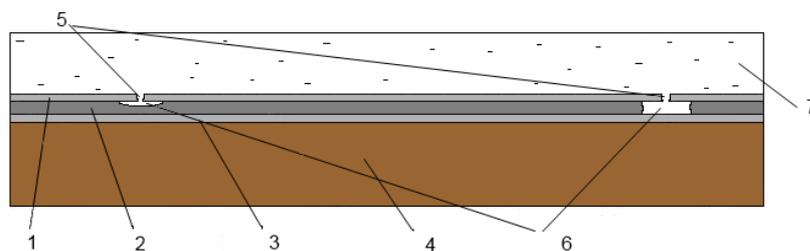


Рис. 2. Схема развития коррозии в многослойном материале в среде, не содержащей окислители:

- 1 – наружный слой, контактирующий с рабочей средой; 2 – протектор; 3 – третий слой;
- 4 – несущий слой; 5 – питтинги в наружном слое; 6 – линзы в протекторе, 7 – агрессивная среда

**Экспериментальная часть.** Опытная партия многослойных материалов состава 08X18H10T + 08 + 08X18H10T, 12X18H10T + Ст3 + 12X18H10T, 08X18H10T + 08 + 08X18H10T + 09Г2С была получена по технологии сварки взрывом.

Проведенные исследования полностью подтвердили предложенную гипотезу в отношении изменения характера коррозионного разрушения многослойного материала [7]. Выдержка образцов с глухим отверстием глубиной до середины второго слоя показала, что происходит образование полости в протекторе. На защищаемых поверхностях отсутствовали коррозионные поражения.

Существующие методы коррозионных испытаний полностью ориентированы на монометаллические материалы. В этой связи необходимой являлась разработка методик и схем, позволяющих оценить скорость коррозионного процесса многослойных материалов.

Многослойный материал представляет собой короткозамкнутый элемент, т.к. неразъёмное соединение слоев имеется по всей поверхности контакта. Разработана схема установки для измерения силы тока практически короткозамкнутого коррозионного элемента (рис. 3). Установка включает в себя цепь для измерения потенциалов электродов, цепь для измерения коррозионного тока, термостат. Цепь для измерения потенциалов состоит из электродов 1 и 2, погруженных в растворы 3 и 4. Растворы соединены электролитическим ключом 6. В каждый раствор погружают электрод сравнения 5, например, хлор-серебряный электрод. С помощью переключателя 8 и милливольтметра 9 измеряют потенциалы металлических электродов относительно применяемого электрода сравнения. Между электродами последовательно включены тумблер 7, резистор 10 с подключенным параллельно к нему цифровым милливольтметром 11, магазин сопротивлений 12. Термостат состоит из сосуда, заполненного водой 14, в которую погружены сосуды с электродами.

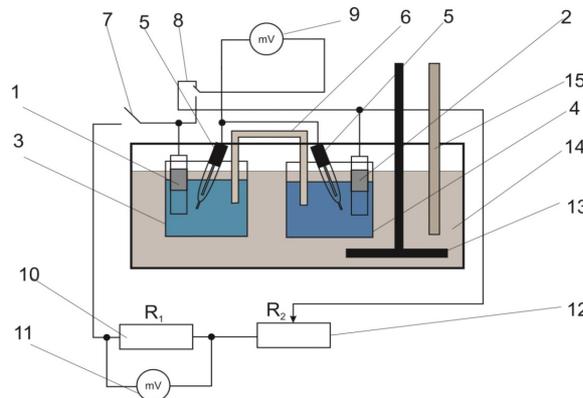


Рис. 3. Схема установки для измерения силы тока короткозамкнутого коррозионного элемента:  
 1, 2 – электроды; 3, 4 – испытательные растворы; 5 – хлорсеребряные электроды сравнения;  
 6 – электролитический ключ; 7 – тумблер; 8 – переключатель; 9 – милливольтметр;  
 10 – калиброванный резистор; 11 – высокоомный цифровой милливольтметр;  
 12 – магазин сопротивлений; 13 – мешалка; 14 – термостат; 15 – термометр

**Выводы.** Исследование коррозионного поведения многослойного материала 12X18H10T+Ст3+12X18H10T в различных средах позволило установить зависимости скорости растворения протектора от концентрации ионов водорода (рН) в растворе и от температуры. Полученные результаты позволяют прогнозировать устойчивость многослойного материала в различных условиях эксплуатации.

### Библиография

1. Ивановский В.Н. Теоретические основы процесса коррозии нефтепромыслового оборудования / Инженерная практика. 2010. № 6. С. 4–14 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.glavteh.ru](http://www.glavteh.ru).
2. Международная заявка на патент 2010/036139 Российская Федерация МПК6 C23F13/00; B32B7/02. Многослойный материал повышенной коррозионной стойкости и способ его получения / А.Е. Розен, И.С. Лось, Ю.П. Перельгин и др.; заявитель и патентообладатель ООО «Научно-технический центр «Инвестпатент». – № 2008/000620; заявл. 26.09.2008; опубл. 01.04.2010. 44 с.
3. Евразийский патент № 016878 ЕАПВ «Многослойный материал повышенной коррозионной стойкости (варианты) и способы его получения». C23F 13/06 В 32В 7/02 / А.Е. Розен, И.С. Лось, Ю.П. Перельгин и др. – выдан 30.06.2012, приоритет от 26.09.2008.
4. Патент Украины №100188 «Багатошаровий матеріал корозійної стійкості (варіанти) і способи його отримання» // А.Е. Розен, И.С. Лось, Ю.П. Перельгин и др. – выдан 26.11.2012, приоритет от 26.09.2008.
5. Жук Н.П. Курс коррозии и защиты металлов. М.: Металлургия, 1968. – 408 с.
6. Лось И.С., Перельгин Ю.П., Розен А.Е., Харина И.Л. Вопросы исследования коррозионной стойкости многослойных материалов, полученных сваркой взрывом // Тяжелое машиностроение. № 6–7. 2013. С. 7–10.
7. Жук А.Л. Курс коррозии и защиты металлов. М.: Металлургия, 1968. 408 с.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕРАТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ РАЗМЕРОПОДОБНЫХ МОДЕЛЕЙ  
ДЛЯ НАЗЕМНЫХ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ИЗДЕЛИЙ РКТ**

**Липницкий Ю.М.<sup>1</sup>, \*Куликов М.Ю.<sup>2</sup>, Ларионов М.А.<sup>2</sup>, Гусев Д.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»*

<sup>2</sup>*Институт конструкторско-технологической информатики РАН*

\* [muk.56@mail.ru](mailto:muk.56@mail.ru)

*В статье рассматривается возможность применения генеративных технологий быстрого прототипирования при создании размероподобных моделей изделий РКТ и последующего использования при наземной отработке.*

**Ключевые слова:** ракетно-космическая техника, аэродинамические размероподобные модели, прототипирование.

**USING GENERATIVE TECHNOLOGIES AT THE MANUFACTURE MODELS OF SIMILAR  
SIZE FOR GROUND AERODYNAMIC TESTINGS OF AEROSPACE HARDWARE**

**Lipnitsky Yu.M.<sup>1</sup>, Kulikov M.Yu.<sup>2</sup>, Larionov M.A.<sup>2</sup>, Gusev D.V.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Federal State Unitary Enterprise «Central Research Institute of Machine Building»*

<sup>2</sup>*Institute of Design-technological Informatics of RAS*

*This article discusses the possibility of using generative rapid prototyping technologies to create similar sized models of aerospace hardware and subsequent use in ground testing.*

**Keywords:** aerospace technology, aerodynamic similar sized models, prototyping.

При создании РКТ с целью отработки оптимальной конструкции все её составляющие подвергаются наземным аэрогазодинамическим испытаниям, которые проводятся на размероподобных моделях. Использование данных моделей позволяет сэкономить значительные средства при испытаниях и отработке изделий ракетно-космической техники (РКТ).

Наземные аэрогазодинамические испытания в конечном итоге проводятся для уменьшения количества дорогостоящих лётных испытаний изделий РКТ. В начале становления космонавтики не существовало методик наземной аэрогазодинамической отработки изделий РКТ, поэтому при проектировании ракетносителя Р-7 (прототип РН «Восток» и РН «Союз») было проведено около 20 летных испытаний. При проектировании РН «Протон» за счет наземной аэрогазодинамической отработки они были сокращены практически в два раза (до 12). Учитывая, что стоимость проведения одного летного испытания РН «Протон» составляет около 3 млрд рублей, экономия средств составила порядка 20 млрд рублей.

Для наземной аэродинамической отработки изделий ракетно-космической техники (РКТ) используются специальные модели. В соответствии с ОСТ 92-8875-77 аэродинамическая модель – это маломащтабное изделие, геометрически подобное конфигурации натурального объекта в сочетании с элементами, обеспечивающими надежное закрепление ее на весах и различного рода поддерживающих устройствах в аэродинамических трубах и газодинамических барокамерах. Аэродинамические модели бывают различных видов в зависимости от применения, такие как весовые, динамические, дренажные, модели для свободного полета и др. К данным моделям по ОСТ 92-8875-77 предъявляется ряд жестких требований. Модель должна быть геометрически подобна исследуемому натурному объекту РКТ, допуск на размеры внешних обводов должен соответствовать 5–7-му качеству. Шероховатость поверхностей модели, определяющих подобие натурному объекту, должна соответствовать  $Ra < 1.25$  мкм, если не оговорены особые требования к этому параметру. Модель должна иметь как можно меньшую массу для обеспечения достаточно высокой собственной частоты колебаний системы модель – тензвесы – поддерживающее устройство и низкого уровня влияния веса модели на измерение составляющих аэродинамической силы и момента. Места соединений деталей и узлов модели должны исключать возможность перетекания газа между внешним контуром и внутренней ее полостью. Жесткость элементов конструкции модели должна обеспечивать неизменное в пределах допуска их относительное положение при действии

нагрузок в процессе аэрогазодинамических исследований. Коэффициент запаса прочности расчетных элементов конструкции модели выбирается исходя из условий испытаний, но не менее трёх.

Изготовление моделей РКТ для наземных аэродинамических испытаний по традиционной технологии машиностроения основано на механической обработке составляющих и входящих в модель деталей.

На сегодняшний день изготовление моделей РКТ по традиционным технологиям становится менее востребованным и экономически невыгодным процессом. Для штучного и мелкосерийного производства наиболее оптимальным решением является использование генеративных технологий, таких как, например, технологии быстрого послойного выращивания моделей (Rapid Prototyping). Современные технологии 3D-прототипирования позволяют чрезвычайно оперативно получить точную деталь с минимальными затратами в кратчайшие сроки [1–3].

В данный момент уже сформировалась целая индустрия быстрого прототипирования, которая занимается разработкой и использованием различных технологий 3D-печати. Сегодня о технологиях быстрого прототипирования имеется много сведений, однако выделить преимущества и недостатки каждой из них и выбрать для производства моделей РКТ оптимальную в отсутствие практического опыта нереально. Только лишь наличие практики применения той или иной технологии должно стать определяющим фактором при выборе эффективного средства для решения поставленных задач.

Национальное управление по воздухоплаванию и исследованию космического пространства США (англ. National Aeronautics and Space Administration, сокр. NASA) также ведет исследования в данной области.

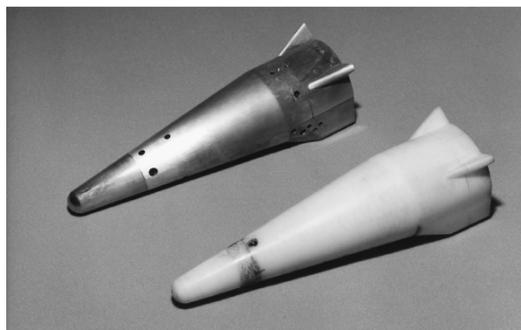


Рис. 1. Сравнение стальной модели и модели, изготовленной по технологии FDM

В последующем были изготовлены модели с помощью четырех методов быстрого прототипирования (SLA, SLS, FDM, LOM) и использования 6 различных материалов (для FDM использовался АБС-пластик и ПEEK, а для LOM – стеклопластик и «бумага»). Испытания проводились для 3-х моделей, изготовленных с помощью методов быстрого прототипирования (RP-модели), и одной алюминиевой модели, используемой в качестве базовой металлической модели.



Рис. 2. Сравнение моделей, изготовленных (слева направо) из алюминия, FDM, SLA, SLS-технологиям, LOM-пластик, LOM-бумага

По результатам анализа технологий и приведенного выше опыта NASA, для настоящего исследования была выбрана технология DLP. Так как точность при использовании данной технологии удовлетворяет требованиям, предъявляемым к аэродинамическим моделям, а применяемые материалы обладают достаточной теплостойкостью.

По эскизу, взятому из альбома AGARD, была разработана 3D компьютерная модель, а в последующем, используя технологии DLP на установке Ultra 2 фирмы Envision TEC, была изготовлена модель, представленная на рис. 3. Толщина одного слоя составляет 100 мкм. Модель была изготовлена из фотополимера НТМ-140. Теплостойкость данного материала составляет 140 °С. Модель устанавливается на специальный поршень, который крепится к тензовесам или же имитатору. Тензовесы с установленной на них моделью монтируются посредством державки на механизме аэродинамического эксперимента, выбранной для данных испытаний на аэродинамической трубе.

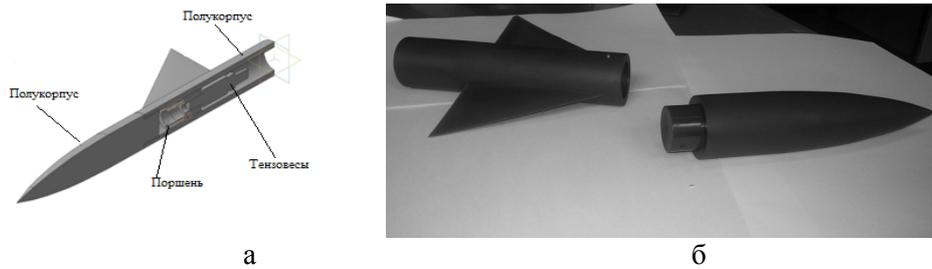


Рис. 3. Модель AGARD model B (а – компьютерная модель; б – модель, изготовленная по технологии DLP)

В ОТК ФГУП ЦНИИмаш при помощи профилометра TR-110 была измерена шероховатость на конусной, цилиндрической и торцевой поверхности в 15 точках. Максимальное значение шероховатости составило 0,64 Ra, тогда как модели из алюминия, выходящие из-под токарного резца после механообработки, имеют шероховатость минимум 3,2 Ra и требуют последующей обработки, но и тогда минимальная шероховатость составляет 1,25 Ra. Точность геометрических размеров составила 7 квалитет. Все требования взаимного расположения поверхностей и точностей форм соблюдены.

В дальнейшем на аэродинамической установке У-3М были проведены испытания при изменении числа Маха от 0,8 до 1,3 и изменении угла атаки от 0 до +15 градусов. Визуальный осмотр после испытания никаких дефектов модели не выявил.

При проведении аэродинамических испытаний на гиперзвуковых режимах (число Маха равно 6) и угле атаки 0 градусов на установке У-6 ФГУП ЦНИИмаш использовался термовизор SC 7700. На рис. 4 представлена картина распределения температур на носовой части модели. Из представленных результатов видно, что за время эксперимента максимальная температура носовой части составила 107 °С.

Визуальный осмотр после испытания никаких дефектов модели не выявил. Контрольные измерения геометрических параметров модели дефектов в виде изменения геометрических форм и их взаимного расположения (температурное коробление) не выявили, и степень точности линейных размеров и шероховатости поверхностей осталась прежней.

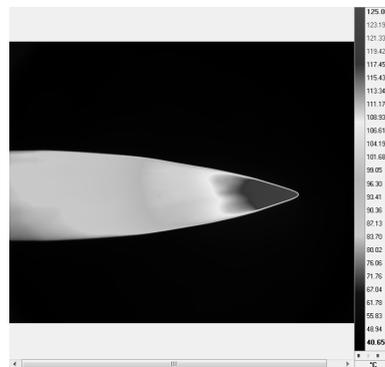


Рис. 4. Картина распределения температур

Анализируя представленные материалы, можно сделать вывод, что при использовании технологии DLP для изготовления моделей из материала НТМ-140, они будут удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к ним. Показано, что модели, изготовленные методом 3D-прототипирования с применением технологии DLP, могут быть использованы при проведении аэродинамической отработки изделий РКТ.

### Библиография

1. Грабченко А.И., Внуков Ю.Н., Доброскок В.Л. [и др.]. Интегрированные генеративные технологии: учеб. пособие / под ред. А.И. Грабченко. Харьков: НТУ ХПИ, 2011. 416 с.
2. Интегрированные технологии ускоренного прототипирования и изготовления: монография / под ред. Л.Л. Товажнянского, А.И. Грабченко. Харьков: ОАО «Модель Вселенной», 2005. 224 с.
3. Springer A.M. Marshall Space Flight Center, Alabama. Application of rapid prototyping methods to high-speed wind tunnel testing. NASA/TP. 1998. P. 208–396.

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫСОКОТОЧНЫХ ОТВЕРСТИЙ ПРИ ХОНИНГОВАНИИ

\*Куликов М.Ю.<sup>1</sup>, Нечаев Д.А.<sup>2</sup>, Иноземцев В.Е.<sup>1</sup>, Рыгин Р.Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт конструкторско-технологической информатики РАН*

<sup>2</sup>*Московский государственный университет путей сообщения*

\*[muk.56@mail.ru](mailto:muk.56@mail.ru)

*В статье рассматриваются пути повышения эффективности хонингования, рассматривается возможность использования анодно-механической обработки, для чего разработана специальная конструкция инструмента.*

**Ключевые слова:** отделочная обработка, хонингование, шлам, анодно-механическая обработка, качество.

## WAYS TO IMPROVE THE QUALITY OF HIGH-PRECISION HOLES IN HONING

Kulikov M.Yu.<sup>1</sup>, Nechaev D.A.<sup>2</sup>, Inozemtsev V.E.<sup>1</sup>, Rygin R.E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Design-Technological Informatics of RAS*

<sup>2</sup>*Moscow State University of Railway Engineering*

*Ways of honing efficiency increase are considered the article as well as possibility of anode machining for what the special design of the tool is developed.*

**Keywords:** finishing, honing, sludge, anode-machining, quality.

Для получения высокоточных отверстий широко используется хонингование, называемое иначе притирочным шлифованием, которое обеспечивает высокую точность формы и шероховатость обработанной поверхности. Однако все более ужесточающиеся требования к качеству машиностроительных изделий требуют отделочной обработки, в т.ч. хонингования. Поэтому целью данной работы является повышение качества (точность, шероховатость) высокоточных отверстий, получаемых хонингованием.

Известно [1, 2], что образующийся в процессе хонингования шлам играет большую роль в формировании обрабатываемого отверстия. Накапливаясь в зоне резания, шлам, образующийся при обработке и состоящий из алмазов и связки, вырванных в процессе обработки из рабочих поверхностей инструмента и частиц обрабатываемого материала удаляемой стружки, остается в контактной зоне и играет роль дополнительного режущего инструмента. Образуюсь в зоне резания, шлам обеспечивает снятие дополнительного припуска с обрабатываемого материала и увеличение фактического диаметра обработанного отверстия, а также ухудшает шероховатость обработанной поверхности. Анодно-механическое хонингование, являясь процессом финишной обработки, по сравнению с обычным хонингованием, обеспечивает значительно большую производительность, а также достижение более лучшей шероховатости ( $R_a = 0,1-0,32$  мкм вместо  $R_a = 0,6-1,0$  мкм при обработке стали 45). Анодно-механическое хонингование проводится обычными хонинговальными головками с подачей электролита и электрического тока в зону резания. В результате этой обработки припуск удаляется за счет его анодного растворения и механического воздействия. Абразив последовательно удаляет оксидный слой с обрабатываемой поверхности, образующийся при анодном растворении [3]. Однако при этой схеме механическая и электрохимическая составляющие процесса обработки действуют отдельно друг от друга, кроме того, размещение электрода в обрабатываемое отверстие составляет известную трудность. По этим причинам эффективность такого метода достаточно низка, и анодно-механическое хонингование не нашло широкого использования.

Для повышения эффективности анодно-механического хонингования необходимо специально спроектировать режущий инструмент, при использовании которого обе составляющие процесса обработки (механическая и электрохимическая) взаимно дополняли бы друг друга. Исходя из этого, была спроектирована хонинговальная головка, рабочие поверхности которой состоят из чередующихся металлического и алмазосодержащего участков  $L=8-10$  мм, расположенных последовательно. При этом высота металлического участка на  $0,1-0,3$  мм ниже, чем у абразивного. Металлические участки имеют выходные отверстия  $\Phi = 2-3$  от центрального канала подачи электролита.

Обрабатываемая заготовка 1 присоединяется к положительному полюсу низковольтного (2–8 В) источника тока (рисунок), а инструмент – к отрицательному полюсу. При работе через систему отверстий в инструменте под давлением 2,5–3,5 атм. электролит. В результате между металлическими поверхностями хона и заготовки в существующем зазоре в присутствии электролита возникает электрохимическое взаимодействие. Обеспечивается стабильный доступ электролита в межэлектродный зазор.

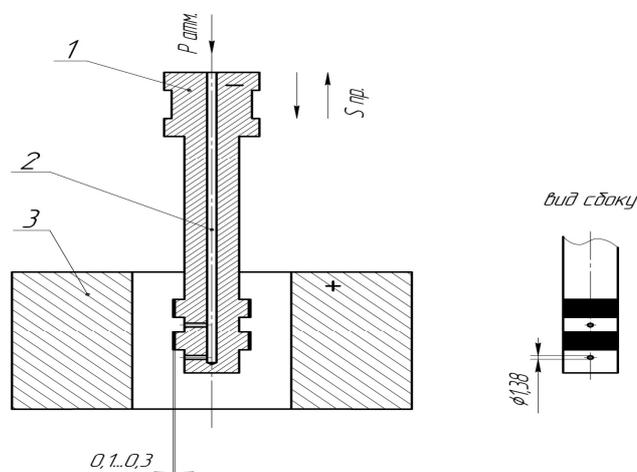


Рисунок. Конструкция режущего инструмента для анодно-механического хонингования:

1 – инструмент, 2 – канал для подвода электролита, 3 – обрабатываемая деталь

В результате обработки таким инструментом происходит удаление припуска с обрабатываемой поверхности за счет анодного растворения и механического воздействия, которые в этих условиях действуют совместно, значительно усиливая результирующее действие. Подаваемый под давлением электролит вымывает образующийся в результате шлам из зоны резания, т.е. оказывает эффективное моющее действие.

Проведенные испытания показали значительное преимущество разработанной конструкции инструмента для анодно-механического хонингования по сравнению со стандартной. Её использование позволяет получить шероховатость обработанной поверхности Ra 0,2–0,4 и увеличение работоспособности в 2 раза по сравнению со стандартной конструкцией хона.

### Библиография

1. Бахарев В.П. Обеспечение качества поверхности изделий из керамических материалов на операциях алмазной обработки: автореф. дисс. ... докт. техн. наук. М., 2011. 39 с.
2. Куликов М.Ю., Рыгин Р.Е., Нечаев Д.А. Обеспечение высокой точности при хонинговании отверстий в машиностроении // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. Иваново, 2013. С. 36–40.
3. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов. М.: Высшая школа, 1974. 589 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ИЗ ЛЕГКОПЛАВКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ И АЛЮМИНИЯ

\*Иноземцев В.Е.<sup>1</sup>, Мо Наинг У<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт конструкторско-технологической информатики РАН*

<sup>2</sup>*Московский государственный университет путей сообщения*

\*vitalin-85@mail.ru

*Разработан способ комбинированной отделочной механической обработки. При этом способе обработка поверхности идёт за счёт совместного воздействия режущего инструмента и анодного растворения металла под воздействием электрического тока в растворе электролита. Применение этого способа позволяет получать при обработке алюминиевых и медных сплавов более высокие параметры качества получаемой поверхности, в том числе специальные.*

**Ключевые слова:** металлокерамика, силумин, чистовая обработка, шероховатость, пористость, комбинированная обработка, параметры качества.

## USING OF INTEGRATED METHODS FOR FORMING THE SURFACE OF THE LOW-MELTING MATERIALS BASED ON COPPER AND ALUMINUM

Inozemtsev V.E.<sup>1</sup>, Myo Naing Oo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Design-Technological Informatics of RAS*

<sup>2</sup>*Moscow State University of Railway Engineering*

*The way is developed by the combined process of finishing machining. In this method, surface treatment is due to the combined effects of cutting tool and anodic dissolution of metal under the influence of an electric current in the electrolytic solution. Applying of this method allow the processing of aluminum and copper alloys to obtain higher quality parameters of the obtained surface, including special material.*

**Keywords:** ceramic metal, silumin, finishing work, roughness, porosity, combined processing, quality parameters.

Решение технологических задач, связанных с анализом триботехнических процессов и целесообразностью использования определённых материалов с заданными свойствами, способствует росту надёжности и увеличению эксплуатационного периода ряда ответственных узлов машин, кроме того, способствует снижению вероятности преждевременного вывода узлов и агрегатов машин из эксплуатации. Применение высокотехнологичных материалов позволяет обеспечить требуемый уровень качества продукции машиностроения. Технологии получения данных материалов позволяют создавать в большинстве случаев уже готовые детали без дополнительных операций формообразования, но для отдельных категорий деталей требуются операции чистовой механической обработки. Поэтому проблемы, сопутствующие чистовым операциям формообразования, являются очень актуальными и требуют индивидуального подхода для их решения.

К высокотехнологичным материалам относятся также пористая металлокерамика, силумины и другие легкоплавкие материалы. Силумины применяются в авиационной и автомобильной промышленности, из них изготавливают поршни, картеры и блоки цилиндров двигателей. Пористые металлокерамические материалы применяются для изготовления самосмазывающихся подшипников скольжения, которые находят успешное применение в бытовой технике, а также в автомобильной, нефтедобывающей промышленности и на железнодорожном транспорте.

Пористая металлокерамика получается в порошковой металлургии с помощью прессования металлических порошков с добавлением порообразователя [1] и спеканием при соблюдении ряда условий. Основные свойства спечёных пористых подшипников скольжения [2], определяющиеся их эксплуатационными качествами: самосмазываемость, хорошая прирабатываемость, износостойкость и прочность. Самосмазываемость пористых подшипников заключается в смазке трущейся пары маслом, содержащимся в порах подшипника. При вращении, особенно при малых скоростях, образуется постоянная смазывающая плёнка за счёт масла, поступающего из капилляров. Регулирование подачи масла осуществ-

ляется автоматически. При увеличении скорости вращения вала температура подшипника повышается, вязкость смазки снижается, и она в большем количестве поступает в зону трущихся поверхностей.

К качеству поверхности изделий из высокотехнологичных легкоплавких материалов предъявляются высокие технические требования, к металлокерамическим материалам предъявляются особые требования. Таким образом, кроме соответствующей шероховатости, антифрикционные втулки из металлокерамики должны обладать требуемой пористостью (рис. 1).

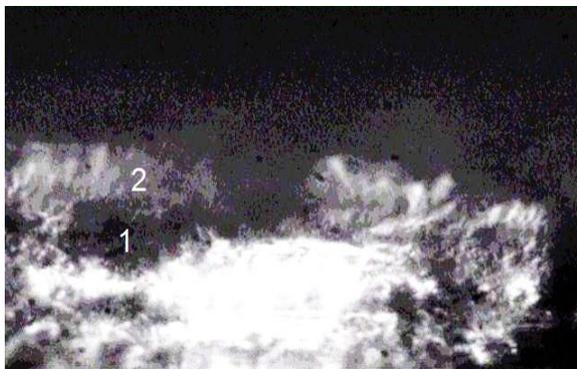


Рис. 1. Структура бронзографита (x50): 1 – кратер поры; 2 – наплыв после обработки

В процессе обработки металлокерамики резанием поверхностные поры замазываются (рис. 2) под действием режущей кромки инструмента. Пористость поверхностного слоя сокращается в 1,7–2 раза. В связи с этим возникает необходимость определения режимов и условий обработки, снижающих затягивание пор.

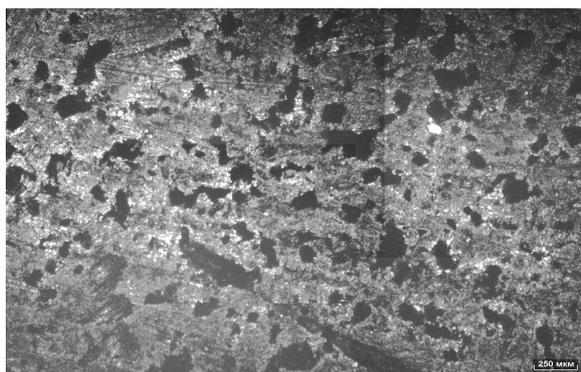


Рис. 2. Закрывающая пора после механической обработки бронзографита (x500)

В перечне научных исследований были сформулированы основные положения и рекомендации, связанные с определением соответствующих режимов обработки, выбором условий среды резания и требованиями, которым должен отвечать применяемый режущий инструмент.

Установлено, что на изменение пористости при механической обработке существенное влияние оказывают такие факторы, как вид материала применяемого режущего инструмента, скорость резания, величина подачи, глубина резания, геометрические параметры режущего инструмента, наличие и вид применяемой смазочно-охлаждающей технологической среды (СОТС) [3]. Таким образом, при исследовании процесса резания бронзографита и железографита установлено, что для пористых металлокерамических материалов с пористостью поверхности от 18 % до 25 % наиболее рациональным является использование высоких скоростей резания, применение твёрдосплавного инструмента с износостойким покрытием с минимальным радиусом вершины, имеющим минимальное округление режущей кромки. Для чистовой механической обработки рекомендуется использовать СОТС: Укринол-1М, Велс-1М.

Пористость и шероховатость поверхности готовых изделий указываются в сертификате качества продукции и являются основополагающими показателями качества поверхности для антифрикционных вкладышей и втулок. На практике не всегда чистовая механическая обработка позволяет получить необходимую шероховатость поверхности, даже если в процессе формообразования пористость соответствует предъявляемым требованиям.

Имеется большое разнообразие способов комбинированной обработки, сочетающих методы воздействия на поверхность с наложением электрического поля. К их числу относится и электрохимикоме-

ханический комбинированный метод обработки [4]. Данный метод представляет обработку поверхности за счёт анодного процесса, основными видами воздействия являются механическое, силовое, химическое. Электрохимикомеханический комбинированный метод обработки (рис. 3) является удобным для достижения требуемых значений шероховатости поверхности деталей из металлокерамических спечённых материалов; металлокомпозитов, получаемых литьём; силуминов и других материалов.

Установлено [5], что чистовую анодно-механическую обработку рекомендуется осуществлять при малых плотностях электрического тока, поэтому основное значение при её выполнении имеют механизмы анодного растворения и механического снятия плёнки движущимся инструментом. Эти процессы происходят преимущественно по вершинам микронеровностей, которые подвержены наиболее интенсивному электрохимическому воздействию и только на них происходит непрерывное механическое удаление плёнки. Во впадинах микронеровностей формируется толстый слой плёнки, играющей защитную роль. В совокупности это приводит к непрерывному уменьшению шероховатости, достижению высокой точности и чистоты поверхности.

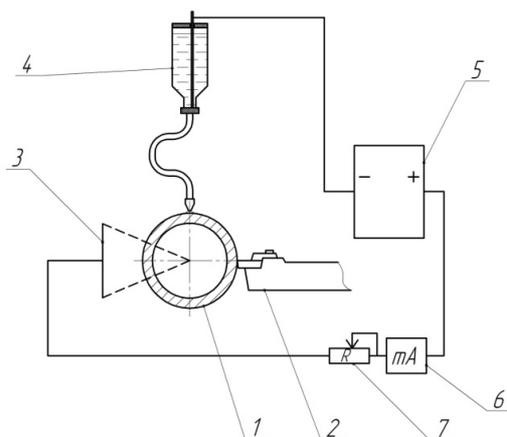


Рис. 3. Принципиальная схема установки для комбинированной электрохимической обработки:  
1 – заготовка; 2 – режущий инструмент; 3 – динамическое токосъёмное устройство; 4 – подача раствора;  
5 – источник тока; 6 – микроамперметр; 7 – резистор с регулируемым сопротивлением

Электрическая цепь замыкается через струю СОТС, попадающую в зону резания. В качестве анода служит поверхность обрабатываемой пористой металлокерамики, в качестве катода используется металлический стержень, помещённый в ёмкость с химически активным раствором. Эффективность обработки повышается при использовании в роли СОТС химически активного раствора с хорошей токопроводностью.

Анодно-механическая обработка силумина с применением раствора каустической соды позволила получить поверхность с шероховатостью  $Ra\ 0,6-0,7$  при скорости резания  $V - 214$  м/мин, подаче  $S - 0,05$  мм/об, глубине резания  $t - 0,5$  мм. В качестве режущего инструмента использовалась сменная твёрдосплавная пластина чашечной формы.

Метод электрохимикомеханической комбинированной обработки позволяет управлять качественными показателями в процессе формообразования поверхности, в результате способствуя достижению необходимого уровня параметров качества поверхностного слоя, в том числе специальных показателей качества, являющихся определяющими для отдельной категории труднообрабатываемых материалов.

### Библиография

1. Бабич Б.Н., Вершинина Е.В., Глебов В.А. Металлические порошки и порошковые материалы: справочник. М.: ЭКОМЕТ, 2005. 450 с.
2. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия. М.: Металлургия, 1980. 382 с.
3. Куликов М.Ю., Иноземцев В.Е., Мо Наинг У. Способ улучшения качества поверхностного слоя с помощью комбинированной механо-электрохимической обработки // Сборник научных трудов «Високи тенології в машинобудуванні». Харьковский политехнический институт. 2012. № 1. С. 168–170.
4. Афонин А.Н., Гапоненко Е.В., Еренков О.Ю. и другие. Прогрессивные машиностроительные технологии. М.: Спектр, 2012. 191 с.
5. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов. М.: Высшая школа, 1974. 494 с.

**КАЧЕСТВО БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛЬ–БАББИТ  
ПРИ ЦЕНТРОБЕЖНОМ СПОСОБЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
С НАГРЕВОМ ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ**

*\*Эльбаева Р.И., Эльбаев Р.А.*

*Кабардино-Балкарский государственный университет*

*\*itf@mail.ru*

*Определены условия, обеспечивающие качественное изготовление биметаллов сталь–баббит Б83 и сталь–баббит Б16. Выбран оптимальный состав флюса для получения максимального самопроизвольного растекания баббитов по поверхности стали. Методом планирования экспериментов определены оптимальные режимы изготовления биметаллических соединений сталь–баббит центробежным способом с нагревом ТВЧ. Исследована микроструктура биметаллов.*

**Ключевые слова:** биметалл, сталь, баббит, флюс, режимы изготовления, микроструктура.

**QUALITY OF BIMETALLIC STEEL–BABBIT COMPOUNDS AT THE CENTRIFUGAL  
METHOD OF PRODUCTION WITH HEATING BY CURRENTS OF HIGH FREQUENCY**

*Elbaeva R.I., Elbaev R.A.*

*Kabardino-Balkarian State University*

*The conditions were determined which provide qualitative manufacturing of bimetal steel–babbitt B83 and steel–babbitt B16. The optimal composition of flux was chosen for maximal spontaneous spreading of babbitt on the steel surface. The optimal modes of production of bimetallic steel–babbitt compounds by centrifugal method with heating by currents of high frequency defined by the method of planning of experiments. The microstructure of bimetal was investigated.*

**Keywords:** bimetal, steel, babbitt, flux, modes of production, microstructure.

Актуальной задачей машиностроения является расширение производства новых высококачественных конструкционных материалов, разработка методов экономии цветных металлов, замена цветных металлов более дешёвыми материалами и биметаллами. Изготовление биметаллических заготовок позволяет не только экономить дорогостоящие металлы, но также получать материалы, обладающие сочетанием различных свойств, например, высокой механической прочностью и коррозионной стойкостью, высокими механическими и антифрикционными свойствами.

Нами разработан центробежный способ изготовления биметаллических заготовок с расплавлением цветного сплава внутри заготовки-основы при нагреве токами высокой частоты (ТВЧ), который позволяет обеспечить максимальную производительность и экономичность технологического процесса при невысокой трудоемкости [1–3].

Технологический процесс осуществляется следующим образом. Стальная заготовка-основа, служащая корпусом биметаллической детали, предварительно обрабатывается по внутренней поверхности и покрывается специальным флюсом в виде обмазки. Навеска цветного сплава в виде стружки или кусочков размером 2–3 мм помещается внутрь стальной заготовки, которая затем закрывается герметичными крышками с двух сторон, вводится в индуктор генератора ТВЧ и закрепляется между центрами специальной установки, позволяющей осуществлять вращение шпинделя с требуемой частотой. При включении генератора ТВЧ и системы вращения установки происходит расплавление металла внутри заготовки и формирование внутреннего слоя отливки. После нагрева заготовки до требуемой температуры отключают генератор ТВЧ, а заготовка продолжает вращаться до полной кристаллизации расплавленного металла, после чего охлаждается на спокойном воздухе.

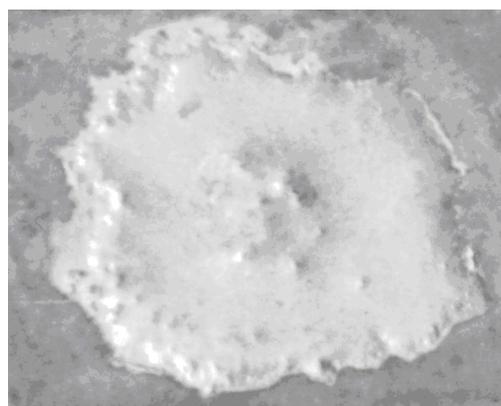
В процессе изготовления биметалла ставится задача получения высокого качества залитого слоя и прочного соединения слоев.

Для исследования были выбраны антифрикционные сплавы: баббит Б 83 (Cu = 2,5 %; Sb = 10–12 %; Sn – остальное), температура плавления 370 °С и баббит Б 16 (Cu = 1,5–2 %; Sb = 10–12 %; Sn = 15–17 %; Pb – остальное), температура плавления 410 °С (ГОСТ 1320-85). Рекомендуемая температура литья со-

ставляет 450–460 °С. Баббиты имеют минимальный коэффициент трения со сталью, хорошо удерживают смазку, могут использоваться при повышенных скоростях и нагрузках. Однако они обладают низкой прочностью, поэтому применяются только в виде биметаллов. Процесс нанесения баббитов на стальную основу сопровождается значительными трудностями, связанными с плохой растекаемостью по поверхности стали оловянно-свинцовистых сплавов с высоким содержанием сурьмы. Нами была поставлена серия опытов, позволяющих определить условия, обеспечивающие максимальное самопроизвольное растекание баббитов Б 83 и Б 16 по стали. Установлено, что как для баббита Б 16, так и для баббита Б 83 наилучший результат получается при использовании флюса, имеющего состав: 70 % ZnCl<sub>2</sub> + 28 % SnCl<sub>2</sub> + 2 % CuCl<sub>2</sub>. Применение данного состава позволяет получать очень тонкие слои баббитов и высокую прочность связи их со сталью. Результаты показаны на рис. 1.



Баббит Б 83  $\vartheta = 12^\circ$



Баббит Б 16  $\vartheta = 10^\circ$

Рис. 1. Растекание баббитов по стали:  $\vartheta$  – краевой угол смачивания

При проведении исследований нами была поставлена серия опытов для выбора оптимальных режимов технологического процесса. Исследования проводили методом многофакторного активного эксперимента, который предполагает вначале наблюдение за влиянием изучаемых факторов на параметр оптимизации, а затем поиск связи между ними [4].

На постоянном уровне были приняты следующие факторы: материал заготовки-основы – сталь Ст. 3 ГОСТ 380-84; размеры заготовки: диаметр наружный – 46 мм; диаметр внутренний – 40 мм; длина заготовки – 60 мм; флюс состава: 70 % ZnCl<sub>2</sub> + 28 % SnCl<sub>2</sub> + 2 % CuCl<sub>2</sub>. Для нагрева использовался ламповый генератор ЛПЗ 67, имеющий частоту тока 70 кГц.

В качестве варьируемых выбраны 4 фактора: удельная мощность нагрева, температура нагрева наружной поверхности, частота вращения заготовки, шероховатость внутренней поверхности заготовки.

Варьирование проведено на двух уровнях (+1 и –1) и включало 16 опытов. Параметр оптимизации выбран как субъективный ранговый показатель, включающий суммарную оценку, присвоенную по десятибалльной системе следующим показателям: полноте расплавления цветного металла, сплошности антифрикционного слоя, прочности связи между слоями, ликвации компонентов залитого слоя. Первые два показателя оценивались визуально, прочность связи слоев – при проведении механических испытаний, последний – при исследовании микроструктуры.

Условия планирования экспериментов показаны в таблице.

Таблица

Условия планирования экспериментов

Уровни варьирования	Факторы технологического процесса			
	Удельная мощность, кВт/см <sup>2</sup>	Температура нагрева, °С	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Шероховатость, мкм
	X1	X2	X4	X4
Основной уровень (0)	0,05	700	1200	30
Интервал варьирования	0,02	100	400	20
Верхний уровень (+)	0,07	800	1600	50
Нижний уровень (-)	0,03	600	800	10

Поставлен полный факторный эксперимент с использованием модулей компьютерной программы Statistica [5]. Составлено уравнение регрессии, числовые коэффициенты которого позволяют оценить степень влияния исследуемых факторов на параметр оптимизации:

$$Y = 6,75 - 1,63 X_1 + 2,39 X_2 + 0,52 X_3 - 0,31 X_4 + 1,48 X_1 * X_2 + 0,51 X_2 * X_3,$$

где  $X_1, X_2, X_3, X_4$  – кодированные значения (+1 или -1) факторов;  
 $Y$  – параметр оптимизации.

Наибольшее влияние на параметр оптимизации ( $Y$ ) оказывают удельная мощность и температура нагрева (факторы  $X_1, X_2$ ), а также их совместное действие ( $X_1 * X_2$ ). Менее значимы: скорость вращения заготовки (фактор  $X_3$ ), шероховатость внутренней поверхности (фактор  $X_4$ ), совместное действие температуры нагрева и скорости вращения (факторы  $X_2 * X_3$ ).

В результате анализа качества получаемых соединений были выбраны наиболее рациональные режимы нагрева: температура нагрева внутренней поверхности  $500\text{--}520^\circ\text{C}$ , скорость нагрева  $15\text{--}16$  градусов в секунду. Величина подводимой мощности нагрева и температура наружной поверхности зависят от размеров заготовки. При толщине стальной гильзы  $3$  мм наиболее рациональной является удельная мощность нагрева  $0,025\text{--}0,03$  кВт/см<sup>2</sup>. Для получения однородного залитого слоя и прочного соединения слоев скорость вращения заготовки должна находиться в пределах  $2\text{--}3$  м/с, шероховатость внутренней поверхности заготовки –  $10\text{--}20$  мкм. Установлено, что наименьшая ликвация баббитов наблюдается при толщине слоя  $0,6\text{--}1,2$  мм. При этом общая толщина залитого слоя с учетом припуска на обработку должна быть не более  $1,5\text{--}2$  мм. На рис. 2 и 3 представлены микроstructures биметаллов сталь–баббит Б 83 и сталь–баббит Б 16, полученные на сканирующем электронном микроскопе «Стереоскан».



Рис. 2. Микроструктура биметалла сталь Ст. 3 – баббит Б 83,  $\times 1000$

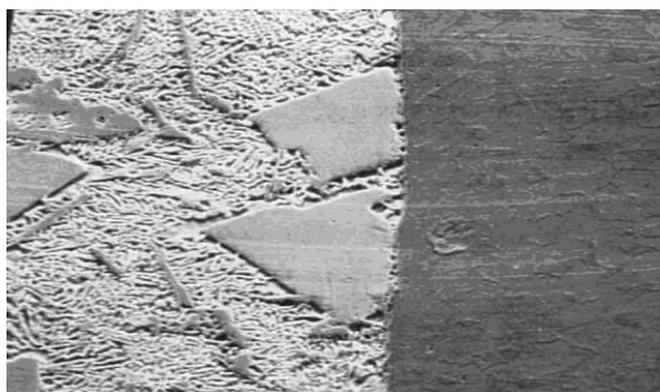


Рис. 3. Микроструктура биметалла сталь Ст. 3 – баббит Б 16,  $\times 200$

Исследование микроstructures биметаллов показало, что между сталью и баббитом образуется тонкий переходный слой толщиной  $1\text{--}2$  мкм, что свидетельствует о наличии химического взаимодействия между контактируемыми металлами с образованием интерметаллических соединений железа с оловом, входящим в состав баббитов. Анализ микроstructures залитого слоя свидетельствует о высоком качестве полученных биметаллов.

Таким образом, проведенные исследования позволили дать обоснованные рекомендации по выбору режимов технологического процесса при изготовлении биметаллических соединений сталь–баббит центробежным способом с нагревом ТВЧ. Применение специальных флюсов в виде химических соеди-

нений позволяет исключить операцию лужения поверхности стали, обеспечивает высокое качество соединения металлов за счет образования переходных слоев между сталью и баббитом.

### **Библиография**

1. Эльбаева Р.И. Биметаллические подшипники // *Машиностроитель*. 1978. № 1. С. 22–23.
2. Эльбаева Р.И. Выбор оптимальных технологических режимов при изготовлении биметаллических заготовок // *Вестник Кабардино-Балкарского государственного университета. Сер. Технические науки*. Вып. 6. Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 2008. С. 53–56.
3. Эльбаева Р.И. Об автоматическом контроле процесса изготовления биметаллических втулок // *Наука, техника и технология в XXI веке (НТТ-2009): материалы IV Международной научно-технической конференции*. Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 2009. С. 99–101.
4. Налимов В.В., Чернова Н.А. *Статистические методы планирования экспериментов*. М.: Наука, 1995. 95 с.
5. Боровиков В.П., Ивченко Г.И. *Прогнозирование в системе STATISTICA и среде WINDOWS*. М.: Финансы и статистика, 1999. 382 с.

## ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РЕШЕТОК ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ РАБОТЫ

\*Батыров У.Д., Атаев П.Л., Карданов Т.Х.

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова*

\*itf@kbsu.ru

*В статье приводятся результаты анализа используемых на производстве и предлагаемых в патентах работоспособности и технологичности изготовления конструкций перфорированных решеток механизмов резания измельчителей пищевых продуктов. Выявлены их недостатки. Предлагается конструкция перфорированной решетки, лишенной выявленных недостатков и защищенной патентом РФ.*

**Ключевые слова:** перфорированная решетка, технологичность, производительность, качество, энергозатраты, измельчение.

## INFLUENCE OF CONSTRUCTIVE ELEMENTS OF GRATINGS FOOD BLENDERS ON EFFICIENCY OF THEIR WORK

Batirov U.D., Ataev P.L., Kardanov T.H.

*Kabardino-Balkarian State University*

*Presents the results of analysis used in the manufacture and working capacity of the proposed in patents manufacturability designs perforated grilles mechanisms of cut food blenders from. A construction perforated grilles devoid of detected shortcomings and protected by a patent of the Russian Federation.*

**Keywords:** perforated grid, manufacturability, productivity, quality, energy costs, grinding.

Перфорированные решетки измельчителей мяса и других пищевых продуктов, будучи одними из их основных рабочих элементов режущих механизмов, оказывают значительное влияние на величину энергозатрат и качество измельчения.

Изыскание резервов повышения производительности механизмов измельчения и уменьшения энергозатрат на процесс измельчения при одновременном повышении качества конечного продукта представляется актуальной задачей. Мощность электродвигателей некоторых моделей волчков для среднего и мелкого измельчения мяса доходит до 30 и более кВт, что значительно превосходит среднюю установленную мощность, например, электродвигателей металлорежущих станков.

Большинство количественных показателей качества решеток (энергозатраты, производительность, срок службы и др.) зависит от формы, размеров, количества рабочих отверстий, расположенных на перфорированной части решетки. Следует отметить, что конструктивному оформлению рабочих отверстий посвящено достаточно большое количество работ. Некоторые из них представлены на рис. 1.

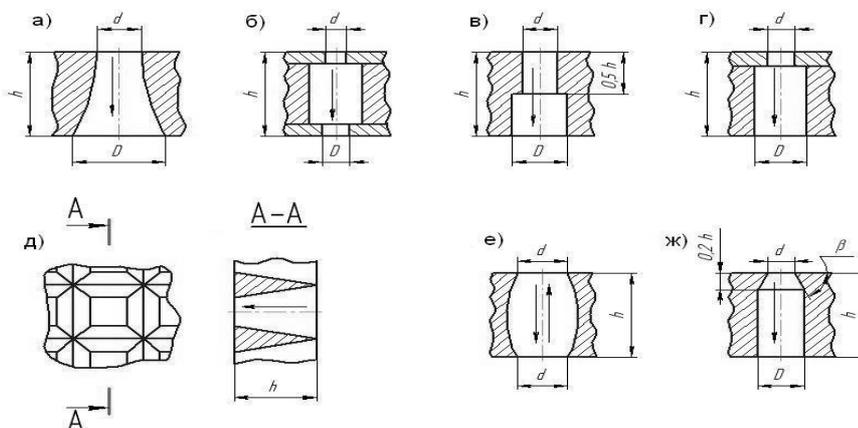


Рис. 1. Некоторые конструктивные формы рабочих отверстий решеток измельчителей пищевых продуктов ( $d$  – вход;  $D$  – выход;  $\rightarrow$  – направление движения измельченного продукта;  $h$  – толщина решетки) [1–7]

На рис. 1а [1] представлено рабочее отверстие с криволинейным образующим, т.е. «отверстия на торце решетки выполнены в виде сопел, прогрессивно расширяющихся непосредственно от торцевой поверхности решетки, взаимодействующей с ножом». Такое отверстие не отвечает требованиям технологичности, так как нет экономичных технологических методов обработки отверстий с криволинейными образующими. Кроме того, диаметр отверстия на выходе может оказаться значительно больше, чем на входе. Тогда мы не сможем разместить на перфорированной части решетки требуемое число отверстий (по ТУ, ГОСТ, СТО).

На рис. 1б [2] представлена сборная решетка, состоящая из набора трех дисков, причем диаметры отверстий в наружных дисках меньше, чем у центрального диска. Утверждается, что продукт, проходя через отверстия диска на выходе, подвергается лучшему измельчению. Это утверждение вызывает сомнение. Следует отметить, что конструкция решетки стала громоздкой.

Рабочее отверстие в решетке [3] на входе имеет диаметр  $d$ . На выходе диаметр отверстия увеличен на 25 % на глубине, равной половине толщины решетки  $h$ . Например, если отверстие на входе будет иметь размер  $d = \text{Ø}5$  мм, то на выходе оно будет иметь размер  $D = \text{Ø}6,25$  мм. При постоянном поперечном сечении отверстий, равном  $d = 5$  мм, толщина перемычки равна 2 мм. Если диаметры на выходе будут  $D = \text{Ø}6,25$  мм, толщина перемычки уменьшится до 0,75 мм, что может создать определенные проблемы при термической обработке решетки.

В конструкции решетки, состоящей из режущего и несущего дисков со сквозными соосными отверстиями [4], отношение диаметра отверстий несущего диска к диаметру отверстий режущего диска составляет 1,5...2, т.е.  $D/d=1,5...2$ .

Например, при  $d=5$  мм  $D$  будет равно 7,5...10 мм, а толщина перемычки 0,5 мм или 3 мм, т.е. на выходе между отверстиями может быть перемычка толщиной 0,5 мм или отверстия пересекаются между собой на величину 3 мм, что практически неприемлемо.

У решетки с рабочими отверстиями в форме правильной усеченной пирамиды [5] угол резания на входе рабочего отверстия будет больше  $90^\circ$ , что увеличит энергозатраты на непосредственное резание пищевого продукта. Утверждение о том, что степень измельчения мяса зависит от размеров выходного отверстия, также вызывает некоторые сомнения, так как измельчаемое мясо подвергается активному воздействию только на входе отверстия. Поэтому кусочек мяса, отрезанный на входе отверстия, будет выдавлен из него с теми размерами, которые были получены на входе (мясо должно резаться, а не перетираться и терять сок).

Рабочее отверстие бочкообразной формы [6] нетехнологично. Кроме того, конструкция решетки не в полной мере отвечает требованиям, предъявляемым к пищевому оборудованию, т.е. поверхности деталей, соприкасающиеся с пищевым продуктом, не должны быть труднодоступными для промывки и очистки (в бочкообразном отверстии продукт будет застревать).

Решетки с рабочими отверстиями, имеющими форму в продольном сечении, представленную на рис. 1ж [7], технологичны в изготовлении и экономичны в эксплуатации. Угол заострения в таком отверстии  $\beta < 90^\circ$ , что способствует уменьшению сил, потребных для разрезания продукта. Кроме того, отрезанный кусок пищевого продукта попадает в отверстие большего диаметра, так как размеры рабочих отверстий в продольном сечении выполнены увеличивающимися в направлении от наружной торцевой поверхности решетки, обращенной к подвижному ножу, на длину 0,2 толщины диска. Далее размеры отверстия являются постоянными, что также способствует уменьшению сил трения между продавливаемым продуктом и стенками рабочих отверстий.

Были выполнены сравнительные испытания на энергоэффективность решеток с рабочими отверстиями в форме круглых цилиндров (рис. 1б, в, г) и решеток с рабочими отверстиями, имеющими комбинированную конфигурацию (рис. 1ж).

Решетки с рабочими отверстиями в форме «конус плюс цилиндр» обладают лучшими режущими свойствами, что позволяет уменьшить энергозатраты как на резание пищевого продукта, так и на прохождение (продавливание) измельченного продукта через рабочие отверстия, не ухудшая химических и биологических свойств конечного продукта.

Следует отметить, что форма рабочего отверстия на входе в форме круглого усеченного конуса благоприятствует процессу измельчения (например, мяса). Измельчаемый продукт прижимается к решетке шнеком силой  $P$  (рис. 2) и, если продукт обладает достаточной упругостью, то сжимается и продавливается через входное отверстие, в котором он упруго восстанавливается и оказывает давление на стенки конуса силой  $N$ , действующей по нормали к наклонной поверхности. Сила  $N$  может быть разложена на составляющие  $N_1$  и  $N_2$ . Силы  $N_2$ , действующие в радиальном направлении, уравниваются, а равнодействующая сил  $N_1$  будет «втягивать» часть продукта, находящегося в отверстии, от входа к выходу.

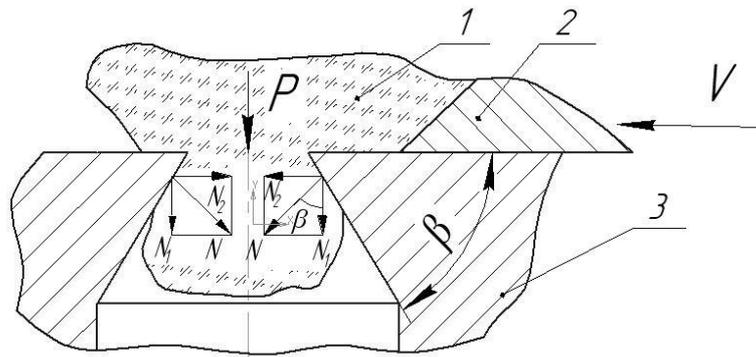


Рис. 2. Схема измельчения пищевого продукта (мяса): 1 – измельчаемый продукт (мясо); 2 – подвижный нож; 3 – неподвижный нож (решетка); P – усилие (давление), создаваемое шнеком; N – давление продавленной (не отрезанной) части мяса на стенки рабочего отверстия;  $N_1$  – дополнительная сила «самозатягивания» части мяса, находящейся в отверстии, в направлении выхода;  $N_2$  – радиальная составляющая силы N ( $N_1 = N \cdot \cos \beta$ )

Для проверки сделанных предположений были проведены эксперименты. В качестве базы сравнения были использованы широко применяемые решетки с круглыми цилиндрическими рабочими отверстиями в перфорированной части. Экспериментальные решетки были изготовлены из углеродистой высококачественной стали У8А (ГОСТ 1435 – 74). Рабочие отверстия в решетке, имеющие комбинированную форму, были обработаны инструментом, обеспечивающим заданный угол заострения  $\beta = 82^\circ 17'$  (рис. 1ж). Контроль величины угла заострения осуществлялся на режущем инструменте.

В качестве исходного пищевого продукта, подлежащего измельчению, выбрано мясо, так как его измельчение является наиболее энергоемким по сравнению с другими пищевыми продуктами (яблоко, свекла, морковь и др.).

Экспериментально установлено, что решетки с рабочими отверстиями комбинированной формы (рис. 1ж) более энергоэффективны (примерно на 25...30 %) по сравнению с решетками, имеющими рабочие отверстия в форме круглого цилиндра (рис. 1б, в, г). Кроме того, визуально качество измельченного продукта повысилось существенно, что выразилось в практическом отсутствии перетертого мяса.

**Вывод.** Рабочие отверстия в перфорированной части решетки следует делать комбинированной формы (круглый конус плюс цилиндр) вместо традиционно используемой формы – круглого цилиндра.

### Библиография

1. Авторское свидетельство к изобретению СССР. 852353, В02С18/36, 07.08.81 / Р.Р. Агасарян, С.С. Восканян, Д.Х. Арутюнов.
2. Авторское свидетельство к изобретению СССР. 17665/2 А1, 28.06.89. Решетка волчка / В.В. Илюхин, С.В. Славущев, Д.С. Руднев.
3. Патент РФ 2037333С1, приоритет 19.06.95. Решетка к устройству для измельчения мяса / В.В. Стефанович.
4. Авторское свидетельство к изобретению СССР. 1804912 А1, приоритет 31.01.91. Решетка к устройству для измельчения продуктов, преимущественно мяса / Л.В. Горчено, Б.С. Гуреев.
5. Патент РФ 2440191 С2, приоритет 23.09.2009. Измельчительная решетка для мясорубки / П.В. Викторovich и др.
6. Патент РФ 2080930 С1. Опубликовано 10.06.1997. Решетка к устройству для измельчения продуктов и способ её изготовления / А.А. Чубуков, Л.Н. Четвериков.
7. Патент РФ, 135540. Опубликовано 20.12.2013. Решетка к устройству для измельчения продуктов / П.Л. Атаев, У.Д. Батыров.

## МЕТОДОЛОГИЯ ИМИТАЦИОННОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ДЛЯ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Девятков В.В.

ООО «Элина-Компьютер»

vladimir@elina-computer.ru

*В статье описывается новая технология проведения имитационных исследований. Основной концепцией методологии является полная автоматизация процесса и интеграция всех программ в единый комплекс. Создаваемые с помощью методологии системы автоматизации имитационных исследований позволяют сократить время исследования и существенно расширить круг потенциальных пользователей имитационного моделирования.*

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, системы автоматизации, сложные системы.

## SIMULATION EXAMINATION METHODOLOGY FOR COMPLEX SYSTEMS SYNTHESIS AND ANALYSIS

Devyatkov V.V.

Elina-Computer Ltd.

*This paper describes new technology of simulation research studies. Process full automation and all programs integrated into single process constitute main methodology concept. Simulation research automation systems created by system methodology allow to minimize research time and to enlarge potential simulation modeling users.*

**Keywords:** simulation, automation systems, complex systems.

Жизненный цикл процесса имитационного исследования сложных систем (ИИСС) при использовании традиционной методологии [1–3] представляет собой совокупность множества этапов и их состояний – от постановки задачи, сбора и обработки исходных данных, разработки модели до проведения экспериментов и формулирования рекомендаций по результатам исследования.

Поэтому формально традиционный процесс ИИСС ( $S$ ) можно представить в виде совокупности множеств, функционально зависящих и взаимодействующих друг с другом – целей, этапов, состояний этапов, их взаимосвязей, ручных и автоматизированных управляющих воздействий и показателей.

$$S = (\{U_{ij}^j, \{S_{ij}^j, \{Q_{ij}^j, \{U_{pi}^j, \{U_{npi}^j, \{P_{ij}^j\}, \quad (1)$$

где  $i=(1, \dots, n)$  – количество этапов процесса ИИСС,  $j=(1, \dots, m_i)$  – количество состояний  $i$ -го этапа.

Общая цель и задачи этапов  $\{U_{ij}^j$  и этапы процесса  $\{S_{ij}^j$ , связи между ними  $\{Q_{ij}^j$ , ручное управление исследованием  $\{U_{pi}^j$  и показатели процесса  $\{P_{ij}^j$  могут изменяться от условий проведения исследования, знаний исследователя, его квалификации и других факторов.

Одним из определяющих факторов при конкретном описании множеств  $\{S_{ij}^j, \{Q_{ij}^j, \{U_{npi}^j$  является выбор исследователем индивидуальной программной среды при реализации тех или иных действий этапа или состояния этапа.

Действительно, каждая система ИМ или дополнительно используемая программа для реализации этапа содержит свой набор программных компонент, связей, диалогов и возможных показателей. Поэтому обозначим через  $Tech_i^i$  совокупность множеств:  $Tech_i^i = (\{S_{ij}^j, \{Q_{ij}^j, \{U_i^k\})$ , реализующих конкретную технологию используемых программных средств на  $i$ -м этапе. Тогда формальное описание традиционного процесса ИИСС можно представить следующим образом:

$$S = (\{U_{ij}^j, \{S_{ij}^j, \{Q_{ij}^j, \{U_{pi}^j, \{P_{ij}^j, \{Tech_i^i\}). \quad (2)$$

Проведенный автором анализ количественных и качественных характеристик этих множеств показал целый ряд недостатков традиционного процесса проведения ИИСС. Можно выделить два основных недостатка.

Во-первых, длительные сроки проведения исследования. Несмотря на постоянные улучшения, например, использование большого количества различных программ и появление более производительных компьютеров, сроки проведения всего цикла исследования для большинства практических применений остаются очень большими – от трех и более месяцев. В основном это происходит из-за наличия ручных операций и необходимости обеспечения информационной и функциональной совместимости различных программ.

Во-вторых, высокие требования к квалификации исследователя. По сути, от процесса исследования оторваны самые заинтересованные лица – представители заказчика. Проводить исследование существующими средствами очень сложно, нужно обладать большим набором специализированных знаний, и проводят его в основном профессионалы ИИСС.

Поэтому основной целью разработчиков программных средств имитационного моделирования является снижение значений времени проведения исследования и упрощение работы с инструментальными программными средствами.

Можно выделить следующие основные направления эволюции традиционного процесса проведения ИИСС за годы его существования:

1. Последовательная автоматизация ручных операций и действий исследователя на всех этапах ИИСС посредством создания новых программ.

2. Непрерывное совершенствование существующих программных средств с целью улучшения их функциональных свойств.

3. Изменение структуры ИИСС – добавление новых этапов, модернизация или объединение существующих этапов и т.д.

4. Введение методов и технологии коллективной работы при проведении ИИСС, разграничение функций пользователя и т.д.

5. Модернизация технологии проведения вычислений в процессе ИИСС – перевод наиболее сложных вычислений на более высокопроизводительные компьютеры, а интерфейса пользователя с системой ИМ – на персональные и мобильные устройства (планшеты, телефоны и др.).

Несмотря на такие глобальные изменения структуры, функциональных свойств, способов проведения вычислений, методология проведения имитационного исследования осталась прежней – основанной на концепции автономных «этапов и состояний» и множестве ручных операций. В результате, все эти изменения не позволяют достичь приемлемого для заказчиков времени проведения исследования, а количество потенциальных пользователей все также ограничено кругом профессионалов имитационного моделирования. Поэтому, прежде всего, нужны системные и концептуальные преобразования.

Одним из основных направлений совершенствования процесса является его полная автоматизация, т.е. необходимо постепенно уйти от ручных операций или свести их к минимуму. Также необходимо все это множество программ объединить в единый программный комплекс. При этом требуется создание общего информационного пространства и языка взаимодействия исследователя с программой, настраиваемого на предметную область создаваемой модели.

Автором была разработана новая методология проведения исследований [4], направленная на систематизацию и объединение всех эволюционных изменений в рамках единой концепции. Основным постулатом при разработке методологии был переход от концепции «этапов и состояний» к концепции «комплексной интеграции и автоматизации».

Посредством проведения предварительных структурных преобразований множеств, связанных с общим описанием процесса, на уровне этапов и состояний были формально учтены особенности комплексной автоматизации и интеграции управления и обмена данными. В результате процесс ИИСС был представлен в следующем виде:

$$S = (\{P_i\}, Tech_{int}, \{Tech_i^i\}), \quad (3)$$

где  $i=(1, \dots, n)$  – новые видоизмененные этапы,  $P_i$  – множество ручных операций на этапе  $i$ ,  $Tech_{int}$  – интегрированная программная технология,  $Tech_i^i$  – программная технология на этапе  $i$ .

Дадим определение интегрированной программной технологии.

**Определение.** Интегрированная программная технология  $Tech_{int}$  процесса проведения ИИСС – это комплексная программная реализация следующих возможных действий и операций:

- Формирование общей цели и задач (показателей) для всего исследования и локальных задач для отдельных этапов.
- Автоматизированный ввод и обработка управляющих воздействий исследователя (команд и данных), интегрирующих этапы ИИСС.
- Автоматизированный ввод и обработка управляющих воздействий исследователя (команд и данных), интегрирующих каждый отдельный этап ИИСС.

- Сохранение, накопление и обработка исходных данных и результатов, необходимых для реализации отдельных этапов и всего процесса ИИСС.
- Интерактивный анализ, обобщение результатов и выработка рекомендаций на каждом этапе и по итогам проведения всего процесса ИИСС.

Из определения следует, что  $Tech_{им}$  при конкретной реализации системы ИМ может включать не все указанные действия и операции. Это определяет в целом уровень автоматизации и интеграции процесса ИИСС в данной системе ИМ. Также важно отметить, что программная реализация всех указанных в определении операций не означает достижение идеального случая, так как на характеристики процесса ИИСС влияют еще способы, информационная технология и качество программной и методической реализации этих операций.

Далее интегрированная программная технология была представлена в виде совокупности программ (рисунок): управляющей программы ( $Pr_y$ ), множества программных подсистем для каждого этапа  $\{Pr_i\}$  и множества программных компонент для каждой подсистемы  $\{Pr_i^j\}$ . При этом любая программа – это тройка множеств (4), определяющих программные спецификации системы обработки данных ( $СОД$ ), языка пользователя ( $ЯП$ ) и вычислительных алгоритмов ( $В$ ):

$$\begin{aligned}
 Tech_{им} &= (Pr_y, \{Pr_i\}, \{Pr_i^j\}) \\
 Pr_y &= (СОД_{им}, ЯП_{им}, В_{им}) \\
 \{Pr_i\} &= (\{СОД_i\}, \{ЯП_i\}, \{В_i\}) \\
 \{Pr_i^j\} &= (\{СОД_i^j\}, \{ЯП_i^j\}, \{В_i^j\})
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

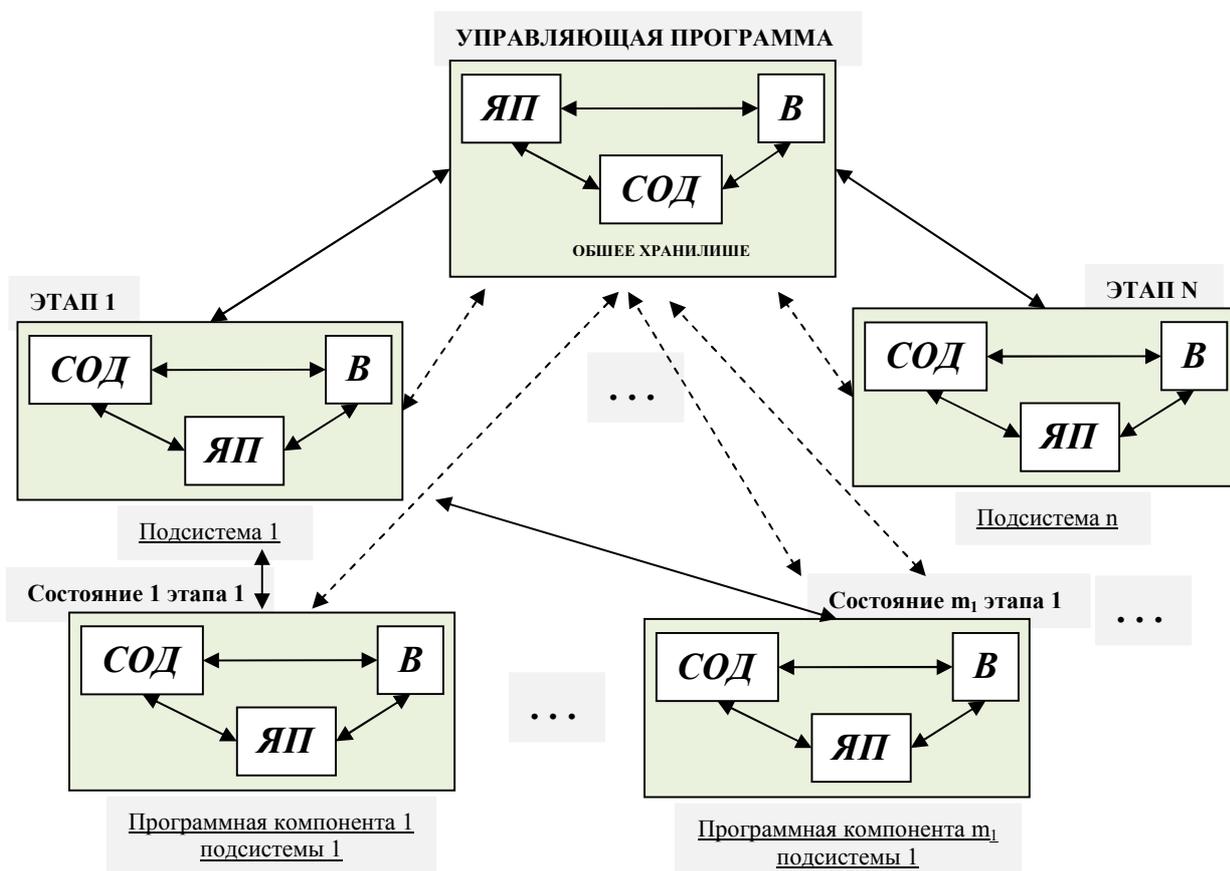


Рисунок. Взаимодействие программ в процессе ИИСС (технология  $Tech_{им}$ )

Таким образом, в новой методологии проведен переход от концепции «отдельных этапов и состояний» к концепции «интегрированных программных систем и компонентов».

Безусловно, при практическом применении необходимо «заполнить» множества программных спецификаций реальным содержанием, которое в основном зависит от используемой системы имитационного моделирования и других программ, реализующих действия пользователя в процессе исследования.

Конкретную программную реализацию по данной методологии будем называть системой автоматизации имитационных исследований (САИИ). Исходя из предпочтений автора и уникальных моделирующих возможностей языка, все первые практические примеры реализации САИИ были созданы с использованием в качестве моделирующего ядра язык GPSSWorld. Это такие разработки, как САИИ, для

профессионалов имитационного моделирования (расширенный редактор GPSSWorld [5]) и целый ряд имитационных приложений в конкретных областях: моделирование транспортной логистики для Универсиады-2013 [6], исследование технологических процессов горно-обогатительных производств [7] и в ряде других областей.

Практическое внедрение новой технологии показало, что происходит существенное сокращение времени проведения исследования (иногда до нескольких недель). При этом исследование по существу превращается в имитационную экспертизу, которая дает гарантированные оценки и рекомендации за допустимое для заказчика время.

### **Библиография**

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978. 400 с.
2. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М.: Мир, 1978. 418 с.
3. Нейлор Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем / пер. с англ. М.: Мир, 1975. 500 с.
4. Девятков В.В. Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития: монография. М.: Вузовский учебник, ИНФРА-М, 2013. 448 с.
5. Девятков В.В. Расширенный редактор GPSSWorld: основные возможности. М.: Принт-сервис, 2013. 143 с
6. Галиахметов А.А., Девятков Т.В., Исаев Ф.В., Девятков В.В., Назмеев М.М. Имитационные исследования транспортной логистики Универсиады 2013 в Казани // Сборник докладов шестой всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2013). Т. 2. Казань: ФЭН, 2013. С. 84–89.
7. Горошков В.Ю., Девятков В.В., Нифантьев Е.А., Федотов М.В. Имитационное моделирование горно-обогатительного производства // Сборник докладов шестой всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2013). Т. 2. Казань: ФЭН, 2013. С. 95–99.

## ПРОБЛЕМА РАССОГЛАСОВАНИЯ ШКАЛ ВРЕМЕНИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ АБСТРАКТНЫХ СОЗНАНИЙ

\*Денисов А.А., Денисова Е.В.

*Институт конструкторско-технологической информатики РАН*

\*alex.kimstach@gmail.com

*Рассмотрена проблема разделения единой шкалы времени при использовании динамической модели осознания в конструировании суперкомпьютера на основе интеграции сознания человека и программно-технического комплекса. Показано, что разделение является артефактом, возникающим из-за неучета согласования внутреннего квантового состояния абстрактного сознания и окружающего пространства. Дано определение кванта активности сознания (мема) с позиции физики квантово-волновых процессов.*

**Ключевые слова:** геоцентрический ТВД, психическое пространство, абстрактное сознание, метрологическая шкала, мем, продольная волна, квантование энергии, открытые нелокальные системы.

## PROBLEM OF TIME SCALE MISMATCHING IN THE DESIGNING OF ABSTRACT CONSCIOUSNESSES

Denisov A.A., Denisova E.V.

*Institute of Design-Technological Informatics of RAS*

*It is considered the problem of time scale separation while using dynamic model of perception for super-computer designing on the base of integration of human's consciousness and program-technical complex. It is revealed that separation is an artifact, which appears due to the neglect of concordance between internal quantum condition and its environment. It is given the definition of consciousness activity quantum (meme) from the point of quantum wave physics.*

**Keywords:** geocentric theater of military operations, mental space, abstract consciousness, metrological scale, meme, longitudinal wave, quantization of energy, open nonlocal systems.

В [1, 2] было показано, что конфликт на геоцентрическом ТВД ведется одновременно в двух пространствах – физическом и психическом. А поведение системы, обладающей осознанием, в таком конфликте исчерпывающе описывается средствами физики.

Кроме того, в [1–5] было показано, что для управления конфликтом в психическом пространстве нельзя воспользоваться моделями сознательной деятельности, развивавшимися в рамках технической кибернетики второго рода (управление системами с самоосознанием) [6], поскольку в основе этих моделей лежат статические задачи осознания. Реальный же конфликт развивается во времени, вызывая мощные динамические искажения в сознании человека и в психическом пространстве в целом.

В связи с этим в [3–5] был предложен новый тип математических моделей осознания конфликта: динамические модели позиционного осознания. Одним из инженерных приложений этой модели стала технология «живого» суперкомпьютера, интегрирующего сознание человека и программно-технический комплекс [1, 4].

Успех тестирования «живого» суперкомпьютера как элемента системы военно-политического управления страны стал экспериментальным доказательством операционной ценности динамических моделей осознания в целом, что позволило обоснованно ввести в практику инженерного проектирования систем разведки, боевого планирования и управления совершенно новый тип объектов – абстрактные сознания.

Абстрактным сознанием было предложено называть сознание безотносительно к его носителю. А математической моделью такого сознания и является динамическая модель позиционного осознания.

**Рассогласование шкал времени в динамической модели.** Разработка технологий конструирования психогенных систем на основе абстрактных сознаний находится в самом начале пути развития и требует широкого круга дополнительных исследований. В частности, одной из ключевых проблем на этом пути является рассогласование шкал времени в динамической модели позиционного осознания.

Динамическая модель осознания, положенная в основу конструирования абстрактных сознаний, имеет пошаговую форму записи [3], объединяющую две системы субъективных образов (таблица):

Таблица

Соответствие обозначений субъективных образов, используемых в динамической модели осознания конфликта

Статические образы	Динамические образы	Содержание образов
$T_y$	$T_y(t)$	Диспозиция на ТВД
$Ty$	$Ty(t)$	Образ собственной армии (армии Y) как неидеальной системы
$\omega = (T_x + Tx)y$	$\omega(t)$	Замысел противника
$\Omega_y$	$\Omega_y(t)$	Образ ситуации на ТВД
$H_y$	$H_y(t)$	Образ действий собственной армии (Армии Y)

Шаг модели был принят равным  $\tau_1$  – характеристическому времени релаксации сознания, т.е. времени формирования субъективного образа. При этом в [3] была рассмотрена трехшаговая модель: для  $t = 0, \tau_1, (\tau_1 + \tau_2)$ .

Шаг № 1:  $t = 0$  (начало отсчета; субъективных образов нет)

1. Статические образы:

$$\begin{cases} T_y|_0 = 0 \\ Ty|_0 = 0 \\ \omega|_0 = 0 \\ \Omega_y|_0 = 0 \\ H_y|_0 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

2. Динамические образы:

$$\begin{cases} T_y(0) = 0 \\ Ty(0) = 0 \\ \omega(0) = 0 \\ \Omega_y(0) = 0 \\ H_y(0) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Шаг № 2:  $t = \tau_1$  (появление первых субъективных образов)

1. Статические образы:

$$\begin{cases} T_y|_{\tau_1} \oplus Ty|_{\tau_1} \rightarrow (T_x + Tx)y|_{\tau_1} = \omega|_{\tau_1} \\ T_y|_{\tau_1} \oplus \omega|_{\tau_1} \rightarrow \Omega_y|_{\tau_1} \\ \Omega_y|_{\tau_1} \oplus Ty|_{\tau_1} \rightarrow H_y|_{\tau_1} \end{cases} \quad (3)$$

2. Переход от статических к динамическим образам на данном шаге выражается системой тождеств:

$$\begin{cases} T_y|_{\tau_1} = T_y(\tau_1) \\ Ty|_{\tau_1} = Ty(\tau_1) \end{cases} \quad (4)$$

3. Динамические образы:

$$\begin{cases} T_y|_{\tau_1} \oplus A|_{\tau_1} \rightarrow \omega(\tau_1) \\ T_y|_{\tau_1} \oplus \omega(\tau_1) \rightarrow \Omega_y(\tau_1) \\ \Omega_y(\tau_1) \oplus Ty|_{\tau_1} \rightarrow H_y(\tau_1) \end{cases} \quad (5)$$

На этом шаге в модель вводилась «заимствованная позиция  $A|_{\tau_1}$ , без которой динамический образ  $\omega(\tau_1)$  оказывался тождественным статическому образу  $\omega|_{\tau_1}$ , и модель теряла «физический смысл». Далее происходил переход к шагу № 3:  $t = (\tau_1 + \tau_2)$ .

Итак, пошаговая модель динамического осознания основана на выделении последовательности дискретных точек на шкале времени  $t = 0, \tau_1, (\tau_1 + \tau_2), \dots$ . То есть на признании существования единой шкалы времени, существующей вне и независимо от моделируемого сознания.

Вместе с тем в полной модели динамического осознания в [3] содержалась еще одна критически важная операция: расщепление субъективного образа, которая во всех последующих публикациях была полностью изъята из обсуждений. Операция расщепления образа записывается как

$$N_y|_{\tau_1} \Theta N_y(\tau_1) \rightarrow \tau_1^* \quad (6)$$

В результате этой операции возникает  $\tau_1^*$  – субъективный образ объективной, физически измеримой характеристики абстрактного сознания, определенной выше как время релаксации сознания  $\tau_1$  (но не само это время – sic!).

В [3] было подчеркнуто, что поскольку  $\tau_1$  – приборно измеримый параметр активности сознания, то  $\tau_1$  является количественной мерой внимания. А субъективный образ этой меры  $\tau_1^*$  есть обезличенный бессодержательный квант активности сознания как такового, т.е. мем.

Поскольку динамическая модель основана на дискретном изменении времени, определяемом затратами на формирование субъективного образа  $\tau_1$ , то и субъективный образ этого времени  $\tau_1^*$  также будет носить дробный, то есть квантованный характер. В результате возникло логическое противоречие, разрыв в понимании «физического» смысла динамической модели осознания. С одной стороны, модель основана на признании единой шкалы времени, внешней и независимой от модели. А с другой – в модели возникает собственное внутреннее психологическое время, определяющее все формы активности этого сознания.

С точки зрения метрологии, возникло рассогласование единой шкалы времени, ее распад на две части: внешнюю, объективную, и внутреннюю, психологическую, что нарушает системное единство всей метрологической системы конструирования и производства абстрактных сознаний.

**Разрешение проблемы рассогласования шкал времени.** Предложенное выше квантово-волновое определение кванта психической активности абстрактного сознания (мема) снимает проблему рассогласования шкал времени в динамической модели осознания (1)–(6).

Никакого рассогласования нет. Существует единая, общая для всех мыслимых физических и психических систем шкала времени – по ней задаются и временные шаги динамической модели осознания, и параметры продольной волны Родригеса и Лу, которая вызывает гармонические резонансы внутри психогенной системы, порождая кванты внутреннего времени этой системы  $\tau_1^* = \mathbf{d} \cdot \mathbf{f}$ , что ведет не к разделению единой шкалы времени, а к согласованию внутреннего квантового состояния абстрактного сознания и окружающего его пространства. Это ведет к выражению:

$$\Psi(\mathbf{d} \cdot \mathbf{f}_i) \approx F(\mathbf{h} \cdot \mathbf{f}_k) \quad (9),$$

связывающему сферы объективного и субъективного посредством объективных квантово-волновых процессов.

Таким образом, проблема рассогласования шкал времени в проектировании абстрактных сознаний – кажущаяся, и возникла вследствие того, что не было принято во внимание согласование внутреннего квантового состояния абстрактного сознания и квантового состояния окружающего его пространства, что является одним из проявлений активности психического пространства в физическом смысле, указанном в [1].

### Библиография

1. Денисов А.А., Денисова Е.В. Конструирование абстрактных сознаний. Основы математической теории смерти // Информационные войны. 2013. № 4. С. 47–61.
2. Денисов А.А., Денисова Е.В. Краткий очерк основ теории управляемой конфронтации // Информационные войны. 2014. № 1. (Принята к публикации).
3. Денисов А.А. Основы метрологического обеспечения управления конфликтом на геоцентрическом ТВД // Информационные войны. 2011. № 3. С. 33–44.
4. Денисов А.А. Основы метрологического обеспечения управления конфликтом на геоцентрическом ТВД. («Призрачные» субъекты) // Информационные войны. 2011. № 4. С. 2–11.
5. Денисов А.А. Основы метрологического обеспечения управления конфликтом на геоцентрическом ТВД. (Математическая теория сказочника) // Информационные войны. 2012. № 1. С. 48–58.
6. Лефевр В. Конфликтующие структуры // В. Лефевр. Рефлексия. М.: Когито-центр, 2003. С. 7–134.

## РЕШЕНИЕ СИТУАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ КАК ОСНОВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭВРИСТИКИ

\*Насипов А.Ж., Петросян В.Г., Газарян Р.М.

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова*

\*alanda@rambler.ru

*Статья посвящена эвристическим приемам, которые способны приводить к цели в условиях неполноты исходной информации и отсутствия четкой программы управления процессом решения задачи. Показаны примеры использования приема «противотока» для решения задач из различных научных областей.*

**Ключевые слова:** ситуационная задача, эвристический прием, технология.

## DECISION AS SITUATIONAL PROBLEMS THROUGH TECHNOLOGICAL HEURISTICS

Nasipov A.Zh., Petrosyan V.G., Gazaryan R.M.

*Kabardino-Balkarian State University*

*The article is devoted to the heuristic methods that can lead to the goal with incomplete initial information and the lack of a clear program of process control solution. The examples of using of the admission of «counter» to solve problems in various scientific fields.*

**Keywords:** problem, heuristic device, technology.

Ситуационные задачи являются важным ресурсом обеспечения тесной связи теории с практикой, применения знаний и умений в практической деятельности. Использование ситуационных задач способствует выявлению и объяснению технологических аспектов различных процессов и явлений. Кроме того, решение ситуационной задачи может стать основой нового эвристического приема.

Рассмотрим следующую **ситуационную** задачу из курса физики:

**Даны 100 медных и 100 алюминиевых шаров одинакового радиуса. Медные шары имеют заряды по 100 нКл каждый, а алюминиевые – не заряжены. Каким образом и какой максимальный заряд можно передать алюминиевым шарам при помощи их соприкосновений?**

Применим эвристический прием – гиперболизацию объектов (или их числа), уменьшив число шаров до двух – один медный и один алюминиевый. Имеем один вариант контакта шаров, при котором заряды между шарами разделятся поровну. При наличии четырех шаров (следующий шаг) число вариантов соприкосновений увеличится. Выберем оптимальный, отвечающий условию задачи вариант. Обозначим заряженные медные шары через **M1** и **M2**, а алюминиевые – **A1** и **A2**. Заряды шаров обозначим этими же символами.

Рассмотрим варианты соприкосновений [1, 2]:

1. а)  $M1 \leftrightarrow A1$ , б)  $M2 \leftrightarrow A2$ .

2. а)  $A1 \leftrightarrow M1$ , б)  $A1 \leftrightarrow M2$ , в)  $A2 \leftrightarrow M1$ , г)  $A2 \leftrightarrow M2$ .

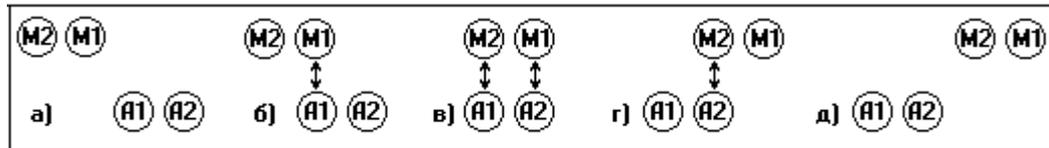
Символом « $\leftrightarrow$ » обозначен факт соприкосновения двух шаров, например, **A1** и **M2**.

Очевидно, остальные варианты, получающиеся перестановкой, идентичны. Таким образом, имеем два варианта соприкосновений. После выполнения первого варианта заряды шаров будут одинаковы: по 50 нКл, т.к. шары металлические, и их радиусы одинаковые по условию задачи. В процессе выполнения второго варианта заряды шаров распределятся следующим образом (без наименования единиц):

а)  $A1=50$ ,  $M1=50$ , б)  $A1=75$ ,  $M2=75$ , в)  $A2=25$ ,  $M1=25$ , г)  $A2=50$ ,  $M2=50$ .

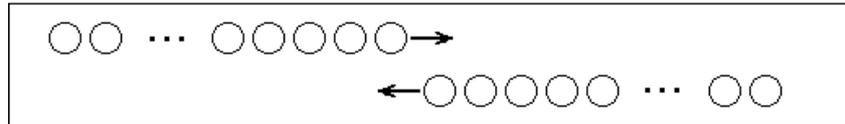
В результате суммарный заряд алюминиевых шаров  $A1+A2=125$ , а медных –  $M1+M2=75$ , т.е. переданный заряд больше половины.

Графически этот процесс выглядит следующим образом:



Рассмотренный частный случай позволяет выдвинуть гипотезу, что процесс, организованный таким образом, решает задачу и для ста шариков.

Модель этого процесса на рисунке будет иметь следующий вид:



Видны два потока, движущиеся навстречу друг другу, т.е. **противоток**.

Рассмотрим теперь математику этого процесса. При контакте первого незаряженного алюминиевого шара (величина заряда  $S_1$ ) с  $n$ -м медным заряженным ( $M_n$ ) происходит перераспределение зарядов по следующей формуле:  $S_1 = \frac{S_1 + M_n}{2}$ . Рассмотрим подробнее: первый контакт:  $S_1 = \frac{0+1}{2} = \frac{1}{2}$ ;  $n=1$ ; вто-

рой:  $S_1 = \frac{\frac{1}{2}+1}{2} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2^2}$ ;  $n=2$ ; третий:  $S_1 = \frac{\frac{1}{2} + \frac{1}{2^2} + 1}{2} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{2^3}$ ;  $n=3$  и так далее до контакта первого алюминиевого шара с  $n$ -м медным шаром:

$$S_1 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{2^3} + \dots + \frac{1}{2^n} \text{ – сумма убывающей геометрической прогрессии с } b_1 = 1/2, \text{ и } q = 1/2.$$

По формуле суммы  $n$  членов геометрической прогрессии найдем сумму заряда первого шара после  $n$  контактов:  $S_1 = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2^i}$ .

Рассмотрим теперь распределение зарядов при контактах второго алюминиевого (незаряженного) шара с медными по формуле  $S_2 = \frac{S_2 + M_n}{2}$ :

$$S_1 = \frac{0 + \frac{1}{2}}{2} = \frac{1}{4} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2^2}, n=1.$$

$$\sum_{k=1}^n k(k+1) = \sum_{k=1}^n k^2 + \sum_{k=1}^n k = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} + \frac{n(n+1)}{2} = \frac{n(n+1)(n+2)}{3}, n=2;$$

и так далее для  $n$ -го шара  $S_2 = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2^i} - \frac{n}{2^{n+1}}$  или, вычисляя сумму геометрической прогрессии, получим:

$$S_2 = 1 - \frac{1}{2^n} - \frac{n}{2^{n+1}}.$$

Аналогично для третьего алюминиевого (незаряженного) шара с медными получаем:

$$S_3 = 1 - \frac{1}{2^n} - \frac{n}{2^{n+1}} - \frac{n(n+1)}{2^{n+2}}.$$

Для четвертого шара после  $n$  контактов имеем:

$$S_4 = 1 - \frac{1}{2^n} - \frac{n}{2^{n+1}} - \frac{n(n+1)}{2 \cdot 2^{n+2}} - \frac{n(n+1)(n+2)}{2 \cdot 3 \cdot 2^{n+2}}.$$

Проанализировав закономерности, можно записать распределение зарядов при контактах  $m$  алюминиевых шаров с медными:

$$S_m = 1 - \frac{1}{2^n} - \frac{n}{2^{n+1}} - \frac{n(n+1)}{2 \cdot 2^{n+2}} - \frac{n(n+1)(n+2)}{2 \cdot 3 \cdot 2^{n+2}} - \dots - \frac{n(n+1)(n+2) \dots (n+m-2)}{(m-1)! \cdot 2^{n+m-1}} \quad (1) \text{ при } m \geq 2.$$

или в виде

$$S_m = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2^i} - \frac{n}{2^{n+1}} - \frac{\sum_{k=1}^n k}{2^{n+2}} - \frac{\sum_{k=1}^n k(k+1)}{2 \cdot 2^{n+3}} - \frac{\sum_{k=1}^n k(k+1)(k+2)}{2 \cdot 3 \cdot 2^{n+4}} - \dots - \frac{\sum_{k=1}^n k(k+1)(k+2) \dots (k+m-2)}{(m-1)! \cdot 2^{n+m-1}} \quad (2)$$

Преобразование выражения вида (1) в (2) происходит с помощью преобразования Абеля [3]:

$\sum U_k V_n = U_n L_n - \sum (U_{k+1} - U_k) L_k$ , которое позволяет вычислить любую сумму вида  $S = \sum_{k=1}^n k^p$ , где  $p$  – натуральное.

Опустив, ввиду их громоздкости, подробные преобразования, выражение (2) можно записать в следующем виде:

$$S_n = 1 - \frac{1}{2^n} - \frac{\sum_{i=1}^n 1}{2^{n+1}} - \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^k 1}{2^{n+2}} - \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^j 1}{2 \cdot 2^{n+3}} - \dots - \frac{\sum_{i_1=1}^n \sum_{i_2=1}^{i_1} \dots \sum_{i_{m-1}=1}^{i_{m-2}} 1}{(m-1)! \cdot 2^{n+m-1}}.$$

Назовем сумму вида  $S = \sum_{k_1=1}^n \sum_{k_2=1}^{k_1} \sum_{k_3=1}^{k_2} \dots \sum_{k_{m-1}=1}^{k_{m-2}} 1$  суммой противотока. Из рассмотрения частных сумм

можно получить закономерность

$$\sum_{i_n=1}^k \sum_{i_{n-1}=1}^{i_n} \sum_{i_{n-2}=1}^{i_{n-1}} \dots \sum_{i_1=1}^{i_2} 1 = \frac{k(k+1)(k+2) \dots (k+n)}{n!} = \frac{(k+n)!}{k!n!}.$$

Заменив  $k+n = p$ , и, соответственно,  $n = p-k$ , получим:

$$\sum_{i_n=1}^k \sum_{i_{n-1}=1}^{i_n} \sum_{i_{n-2}=1}^{i_{n-1}} \dots \sum_{i_1=1}^{i_2} 1 = \frac{k(k+1)(k+2) \dots (k+n)}{n!} = \frac{(k+n)!}{k!n!} = \frac{p!}{k!(p-k)!} = C_p^k,$$

где  $C_p^k$  – число сочетаний из  $p$  по  $k$ .

Таким образом, исследование явления противотока приводит к закономерности, математически выражающейся в следующем виде:

$$\sum_{i_n=1}^k \sum_{i_{n-1}=1}^{i_n} \sum_{i_{n-2}=1}^{i_{n-1}} \dots \sum_{i_1=1}^{i_2} 1 = \frac{(k+n)!}{k!n!} = C_{k+n}^n.$$

Сумма такого вида и, соответственно, представление ее в виде числа сочетаний в математической литературе не встречаются и являются, на наш взгляд, нетривиальным результатом.

Расчеты, проведенные с помощью компьютера для  $N=100$ ,  $Q=100$  нКл, показали, что суммарный заряд, переданный алюминиевым шарам  $SQK = 9436,517$  нКл, т.е. практически весь заряд передан незаряженным шарам.

Решение ситуационной задачи, приведенной в начале статьи, позволило сформулировать **ситуативный эвристический прием – противоток**, и, что бывает достаточно редко, формализовать процедуру, дать её математическое описание. Метод противотока позволяет технически реализовать технологию, например, отбора тепла от горячего радиоактивного жидкого носителя в АЭС водой, превращающейся при этом в пар и вращающей турбины генераторов электрической энергии.

Если в начале статьи для решения задачи был использован эвристический прием – гиперболизация, когда вместо двухсот шаров были рассмотрены четыре шара, затем шесть шаров и т.д., то для решения задачи по отбору тепла поступим по аналогии с предыдущим решением, но теперь используем другой эвристический прием – дискретизация объектов, суть которого достаточно прозрачна. «Организуем» дискретный противоток горячего теплоносителя и холодной чистой воды.

Рассчитывая температуру «чистой» воды после теплообмена при разных числах разбиений от 1 до заданного числа  $N$ , можно получить график зависимости температуры холодной воды от числа разбиений.

Очевидно, чтобы передать тепло от теплоносителя к приемнику с наибольшей эффективностью, необходимо предложить конструкцию, реализующую непрерывный противоток, и один из вариантов такой конструкции может иметь вид двух коаксиальных металлических труб с большой теплопроводностью, в которых жидкости движутся навстречу друг другу. Метод противотока позволяет технически реализовать технологию отбора тепла, а при большой длине и малой скорости движения жидкостей такой теплообменник будет работать достаточно эффективно.

Данный эвристический прием может быть использован для поиска решения задач, взятых из различных научных областей.

В частности, в биологии легко объясняется факт «дыхания» рыб (движение крови в жабрах и движение встречной воды образуют противоток), движение горячей крови в ластах северного кита и движение холодной крови к сердцу кита образуют противоток, что сводит к минимуму потери тепла через ласты. Тепло горячей крови возвращается с нагретой кровью, идущей к сердцу.

Не менее интересным и продуктивным является использование метода «противотока» в решении технологических задач, например, в *вентиляторных* градирнях, при очистке от грязи и жира деталей с экономией моющих средств.

### **Библиография**

1. Петросян В.Г. Исследование явления противотока на уроках физики и информатики // Физика: приложение к газете «Первое сентября». 1997. № 4. С. 14.
2. Петросян В.Г., Газарян Р.М. Межпредметные связи информатики, физики, математики, биологии при решении задач // Информатика и образование. 1998. № 8. С. 63–68.
3. Бендукидзе А.Д., Сулаквелидзе А.К. Вычисление сумм // Квант. 1970. № 9. С. 37–39.

## СПОСОБЫ ПРОВЕРКИ НА АДЕКВАТНОСТЬ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

\*Досько С.И.<sup>1,2</sup>, Гусаров С.В.<sup>2</sup>, Юганов Е.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт конструкторско-технологической информатики РАН*

<sup>2</sup>*МГТУ «Станкин»*

\*dosko@mail.ru

*Создание и применение сложных промышленных динамических систем, рост интенсивности режимов их использования, повышение требований к их надежности усиливают значимость задачи диагностирования состояния объектов. Одним из важнейших и трудноформализуемых этапов процедуры идентификации является оценка адекватности полученной модели. Этому вопросу и посвящена настоящая статья.*

**Ключевые слова:** математическая модель, идентификация, частотная характеристика, информационная мера, доверительная область.

## METHODS FOR VERIFICATION MATHEMATICAL MODELS OF TECHNICAL SYSTEMS

Dosko S.I.<sup>1,2</sup>, Gusarov S.V.<sup>2</sup>, Yuganov E.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Design-Technological Informatics of RAS*

<sup>2</sup>*Stankin MSTU*

*Creating and applying industrial complex dynamic systems, the growth of the intensity of their modes of use, increasing demands for reliability reinforce the importance of the problem of diagnosing the state of objects. One of the most important and difficult steps to formalize the identification procedure is to estimate the adequacy of the resulting model. The issue addressed in this article.*

**Keywords:** mathematical model, identification, frequency response, information measure, the permissible range.

Как известно, оценка адекватности (соответствия) построенной модели реальной системе является необходимым этапом решения задачи идентификации [1–3]. Критерии адекватности могут иметь качественный и количественный характер. Для количественной оценки степени адекватности могут быть использованы информационная и дисперсионная меры.

Информационной мерой адекватности модели называется величина

$$Q(y | x, c) = 1 - \frac{E(y | x, c)}{E(y)} \quad (1)$$

в точке  $c = \hat{c}$ . В уравнении (1)  $E(y | x, c)$  – условная энтропия выходных наблюдений  $y$  относительно входных  $x$ ,  $\hat{c}$  – вектор оценок параметров модели. Величина  $Q$  принимает значения из интервала  $[0, 1]$ . Случай единичной информационной меры означает, что построенная модель позволяет полностью восстанавливать выходные наблюдения по входным наблюдениям.

Дисперсионной мерой адекватности называется величина

$$\eta(y_k | x, c) = 1 - \frac{D(y_k | x, c)}{D(y_k)} \quad (2)$$

в точке  $c = \hat{c}$ . В уравнении (2)  $D(y_k)$  – дисперсия  $k$ -й координаты вектора выходных наблюдений;  $D(y_k | x, c)$  – условная дисперсия переменной  $y_k$  относительно входных наблюдений  $x$  при фиксированных параметрах  $c$ . В практических задачах используются оценки этих величин, вычисленные по входным наблюдениям и остаточным ошибкам. Дисперсионная мера также принимает значения из интервала  $[0, 1]$ .

**Погрешности вычисления частотных характеристик.** Оценки частотных характеристик обычно содержат систематическую ошибку, источником которой могут быть следующие факторы:

1. Смещение, обусловленное используемым методом оценивания.
2. Смещение, обусловленное запаздыванием при распространении входного процесса в системе.
3. Нелинейность системы и (или) зависимость ее параметров от времени.
4. Смещение оценок спектральной и взаимной спектральной плотностей (при использовании случайного входного воздействия).
5. Измерительные шумы на входе (присутствие некоррелированного шума на выходе не создает смещения оценок).
6. Наличие входных процессов, коррелированных с измеряемым (наличие других некоррелированных с данными входных процессов не создает смещения, поскольку по отношению к измеряемому входу их можно рассматривать как дополнительный некоррелированный шум на выходе).

**Определение доверительных областей для частотных характеристик.** Расположение и размеры доверительных областей для ЧХ в системе со многими входами зависят от выборочной функции когерентности между входом и выходами, выборочной функции множественной когерентности между входами, выборочных функций плотностей спектра мощности и выборочных частотных передаточных функций.

Предполагается, что ошибки смещения всех используемых ниже спектральных оценок пренебрежимо малы. Пусть  $|h_{iy}(f)| = |h_{iy}|$  – модуль (АЧХ) истинной частотной передаточной функции (ЧПФ), а  $\varphi_{iy}(f) = \varphi_{iy}$ ;  $i$  – номер входа,  $y$  – выход, тогда истинная ЧХ может быть записана в виде

$$h_{iy}(f) = |h_{iy}| e^{j\varphi_{iy}}.$$

Тогда  $(1-\alpha)$  – интервалы для  $|h_{iy}|$  и  $\varphi_{iy}$  для каждого входа и любой фиксированной частоты  $f_l$  могут быть определены системой неравенств

$$\left\{ \begin{array}{l} |\hat{h}_{iy} - \hat{r}_{iy} < |h_{iy}| \leq \hat{h}_{iy} + \hat{r}_{iy} \\ \hat{\varphi}_{iy} - \Delta\hat{\varphi}_{iy} < \varphi_{iy} \leq \hat{\varphi}_{iy} + \Delta\hat{\varphi}_{iy} \end{array} \right\}, \quad (3)$$

где  $|\hat{h}_{iy}|$  и  $\hat{\varphi}_{iy}$  – выборочные оценки; ошибка в длине радиуса  $r_{iy}(f) = |h_{iy}|$  и ошибка в фазе  $\Delta\varphi_{iy}(f) = \Delta\hat{\varphi}_{iy}$ , которые могут быть вычислены по соответствующим формулам.

На рис. 1 в полярных координатах представлена доверительная область, построенная при значении частоты  $f_l$ . Каждой отдельной частоте и соответствующему входу отвечает своя собственная доверительная область. Совокупность доверительных областей на комплексной плоскости образует доверительную область для АФЧХ.

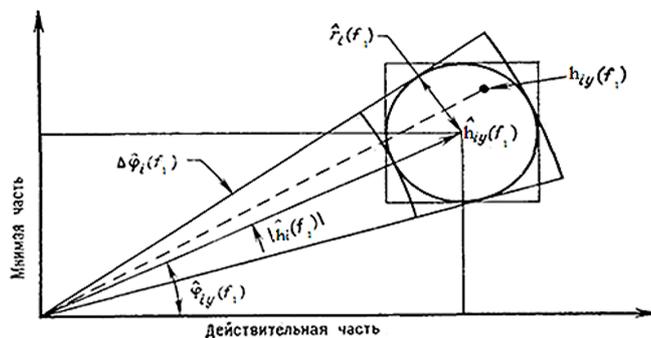


Рис. 1. Доверительная область в точке  $f_l$  на АФЧХ

Если ограничиться случаем  $p$  некогерентных входов, что характерно активному эксперименту, то формула для квадрата ошибки в радиусе будет иметь вид

$$\hat{r}_{il}^2 = \frac{2}{n-2} (F_{n_1, n_2}, \alpha) (1 - \hat{\gamma}_{yi}^2) \frac{\hat{S}_y}{\hat{S}_i},$$

где  $\hat{S}_y$  – оценка спектра мощности для выхода,  $\hat{S}_i$  – оценка спектра мощности для входа  $F_{n_1, n_2}, \alpha$  – 100 $\alpha$  – процентная точка распределения Фишера с  $n_1 = 2$  и  $n_2 = n - 2$ ,  $n_1 = 2$ ;  $n$  – число степеней свободы в каждой спектральной точке,  $\hat{\gamma}_{yi}^2$  – выборочная оценка функции когерентности между выходом и  $i$  – входом. Ошибка в фазе вычисляется по формуле

$$\Delta\phi_{il} = \arcsin\left(\frac{\hat{r}_{il}}{|\hat{h}_{iy}|}\right).$$

Согласно [6], определенные таким образом доверительные границы дают более узкую область, чем границы для случая многих входов; следовательно, они более предпочтительны.

Однако, как показал опыт, удобнее использовать отдельно доверительные области для АЧХ ( $|h_{iy}(f)|$ ) и ФЧХ ( $\phi_{iy}(f)$ ). При условии последовательной обработки данных и детерминированном входном воздействии для построения доверительных областей ЧХ можно использовать так называемые доверительные интервалы, что предполагает следующий порядок операций (на примере АЧХ):

1. Вычисляются средние значения из  $L$  измерений для каждой точки ЧХ ( $i = 1 \dots N$ )

$$\bar{h}_i = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L |h_l(f_i)|.$$

2. Находятся погрешности отдельных измерений

$$\Delta h_{il} = \bar{h}_i - |h_l|.$$

3. Если некоторые результаты измерений резко отличаются по своему значению от остальных, то проверяется, не являются ли они «промахом».

4. Определяется средняя квадратичная погрешность результата серии измерений

$$s_{\bar{h}_i} = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^L (\Delta h_{il})^2}{L(L-1)}}.$$

5. Задается значение уровня надежности  $\alpha$  (90–95 %).

6. Определяется коэффициент Стьюдента  $t_\alpha(n)$  для заданной надежности  $\alpha$  и числа произведенных измерений  $L$ .

7. Определяется граница доверительного интервала для АЧХ (погрешность результата измерений)  $\Delta h_i = t_\alpha(n) s_{\bar{h}_i}$ .

8. Рассчитывается относительная погрешность результата измерений  $\varepsilon_i = \frac{\Delta h_i}{\bar{h}_i} 100\%$ . В нашем случае остаточная ошибка (погрешность аппроксимации) в каждой экспериментальной точке ЧХ – это разность между средним экспериментальным значением и расчетным значением, для АЧХ она определяется как  $e_i = |\bar{h}(f_i)| - |h(f_i, \hat{\mu})|$ , для АФЧХ  $e_i = |\bar{h}(f_i) - h(f_i, \hat{\mu})|$  и является фактически АЧХ погрешности аппроксимации. При необходимости может быть использована и погрешность аппроксимации фазы  $\tilde{e}_i = |\bar{\phi}(f_i)| - |\phi(f_i, \hat{\mu})|$ . Относительные ошибки аппроксимации рассчитываются так:

$$e_{oi} = \frac{e_i}{|\bar{h}(f_i)|} 100\% \text{ и } \tilde{e}_{oi} = \frac{\tilde{e}_i}{|\bar{\phi}(f_i)|} 100\%,$$

где  $f_i$  – значение частоты (Гц) в  $i$ -й точке,  $\hat{\mu}$  – вектор оценок модальных параметров.

Используя доверительные интервалы отдельно для реальной и мнимой частей АФЧХ, можно в каждой точке построить доверительные эллипсы, а затем доверительную область для АФЧХ. На рис. 2 представлен пример построения доверительной области для АФЧХ горизонтально-фрезерного станка, полученной при синусоидальном возбуждении.

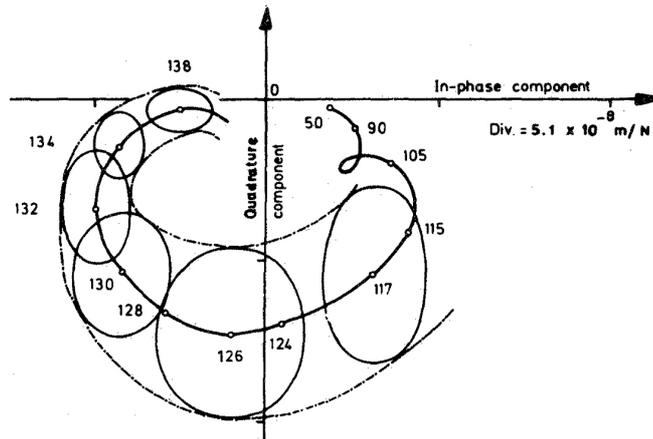


Рис. 2. Средняя экспериментальная АФЧХ горизонтально-фрезерного станка и 90% доверительная область

### Библиография

1. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя. М.: Наука, 1991.
2. Волков Н.В. Функциональные ряды в задачах динамики автоматизированных систем. М.: Янус-К, 2001. 96 с.
3. Стратонович Р.Л. Теория информации. М.: Советское радио, 1975. 424 с.

## УЛУЧШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНЫХ РОТОРНЫХ СИСТЕМ

\*Сабилов Ф.С., Кочинев Н.А., Мысливцев К.В.

*МГТУ «Станкин»*

\*fanira5057@yandex.ru

*Рассмотрены вопросы, связанные с моделированием многослойных роторных систем методом конечных элементов. На примере шпиндельного узла гильзовой конструкции шлифовального станка с ЧПУ показаны возможности оригинального программного комплекса для расчета и анализа частотных характеристик и форм колебаний многослойных роторных систем. Предложены меры улучшения динамических характеристик за счет допустимых конструктивных изменений в шпиндельном узле.*

**Ключевые слова:** шпиндельный узел, гильзовая конструкция, частотные характеристики, метод конечных элементов.

## IMPROVING THE DYNAMIC RESPONSE OF MULTILAYER ROTOR SYSTEMS

Sabirov F.S., Kochinev N.A., Myslivtsev K.V.

*Stankin MSTU*

*The following issues associated with the modeling of multilayer rotor systems using finite element method were considered. On the example of the spindle the barrel assembly design CNC grinding machine we show capabilities of the original software for the calculation and analysis frequency characteristics and waveforms multilayer rotary systems. We propose measures to improve the dynamic characteristics due admissible structural changes in spindle assembly.*

**Keywords:** spindle assembly, mating design, frequency characteristics, finite element method.

Многослойные роторные системы, когда основной вал вращается, например, на подшипниках качения во втулке, а втулка, в свою очередь, вращается на подшипниках скольжения в гильзе, а гильза может перемещаться в осевом направлении относительно корпуса, характерны для многих металлорежущих станков, у которых шпиндель расположен в гильзе с возможностью осевого перемещения. Это токарные многошпиндельные, сверлильные, расточные, фрезерные станки. Расчет деформаций и определение динамических характеристик таких многослойных роторных систем с использованием имеющегося программного обеспечения затруднен и не дает приемлемого результата [1–3]. В МГТУ «Станкин» разработана программа для ЭВМ, позволяющая решить эту задачу [4, 5].

Программа SpinDyna\_FE предназначена для автоматизированного расчета статических и динамических характеристик многослойных роторных систем, позволяет моделировать шпиндельные узлы станков на различных опорах (качения, аэро-, гидростатических и др.) при наличии параметров, характеризующих их жесткостные и демпфирующие свойства.

Результатом статического расчета роторной системы являются осевые и радиальные упругие деформации, а также углы поворота сечений вала и гильзы, соответствующие узловым точкам расчетной схемы от заданных нагрузок и (или) веса вала; реакции в опорах вала и стыках.

При динамическом расчете роторной системы определяются:

- собственные частоты и модальные коэффициенты демпфирования;
- изгибные формы колебаний упругой системы вала и гильзы в заданном частотном диапазоне;
- амплитудно-частотные (АЧХ) и фазо-частотные характеристики роторной системы по любой заданной координате как от силы резания, так и от силы (момента), приложенной в любой узловой точке расчетной схемы.

Моделированию, расчету и оптимизации динамических характеристик шпиндельных узлов уделяется большое внимание [6–10], поскольку именно от шпиндельных узлов зависит точность, производительность и долговечность металлорежущих станков. Схожие задачи по моделированию и анализу напряженно-деформированного состояния упругих систем есть и в других областях [11–13].

Одним из примеров использования программы SpinDyna\_FE является работа, посвящённая улучшению конструкции шпиндельного узла (ШУ) пятикоординатного шлифовального станка с ЧПУ. Сам шпиндель (рис. 1) смонтирован внутри гильзы на пяти радиально-упорных подшипниках качения. Наружный диаметр гильзы 179 мм, а общая длина ШУ – 832 мм. В станке гильза со шпинделем размещена внутри бабки.

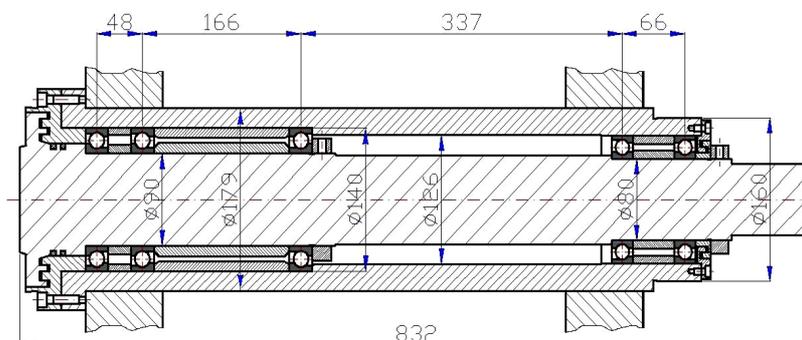


Рис. 1. Эскиз шпиндельного узла гильзовой конструкции шлифовального станка

Исследуемый шпиндельный узел был установлен на стенде и закреплен в тех же местах, что и на станке. Попутно с исследованием динамических характеристик проводились исследования состояния опор по виброакустическому сигналу, аналогичные исследованиям [14, 15].

В расчетной модели жесткости опор взяты из каталога, а коэффициенты демпфирования приняты в соответствии с рекомендациями [16].

Идентификация параметров исходной модели проводилась на основе частотных характеристик, полученных экспериментальным путем при импульсном нагружении шпинделя на переднем конце [17]. В результате идентификации удалось добиться весьма хорошего совпадения экспериментальных и расчетных собственных частот и высот пиков (АЧХ) в частотном диапазоне 0–1700 Гц, выбранном для дальнейшего анализа.

В шпиндельных узлах гильзовой конструкции шпиндель и гильза работают параллельно, внося свой вклад в перемещение переднего конца шпинделя. Анализ статических деформаций базового варианта показал, что перемещение переднего конца шпинделя зависит не только от собственных деформаций и деформаций опор. В значительной степени оно определяется подсистемой гильзы, причем в основном опорами гильзы.

Наличие адекватной математической модели ШУ, позволило начать поиск вариантов, которые могли обеспечить улучшение динамических характеристик ШУ и могли быть реализованы конструктивно. Варьировались положения подшипников в передней и задней опорах, жесткостные характеристики подшипников качения, а также конструктивные изменения в виде сквозного отверстия в шпинделе.

На рис. 2 представлены расчетные АЧХ исходного варианта ШУ и улучшенного варианта. Видно, что вместо трех собственных частот стало две, частота максимального пика увеличилась с 1068 до 1222 Гц, а амплитуда уменьшилась на 15 %. Все это положительно сказывается на виброустойчивости ШУ. Однако недостатком улучшенного варианта является то, что понизилась частота первой формы колебаний с 847 до 640 Гц. Но это не должно вызывать опасений, поскольку амплитуда стала ниже.

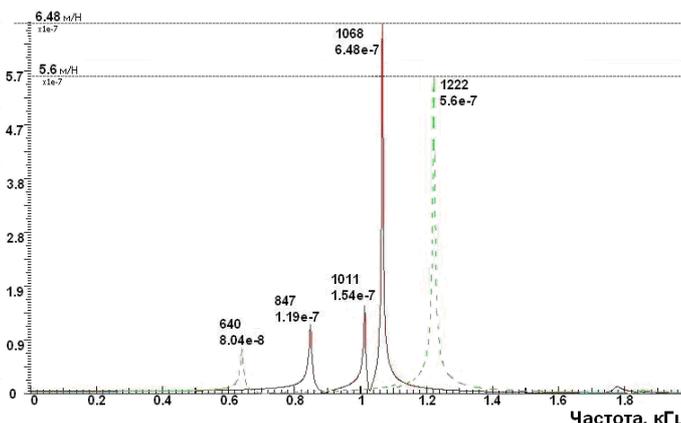


Рис. 2. АЧХ исходного (сплошные линии) и улучшенного варианта (пунктирные линии) моделей ШУ

Наличие отверстия диаметром 30 мм в шпинделе существенного влияния на собственные частоты и резонансные амплитуды по сравнению со сплошным шпинделем не оказывает.

Построение форм колебаний (рис. 3) на собственных частотах позволяет оценить долю каждого из элементов, шпинделя и гильзы в общем балансе упругих перемещений узловых точек на этих частотах.

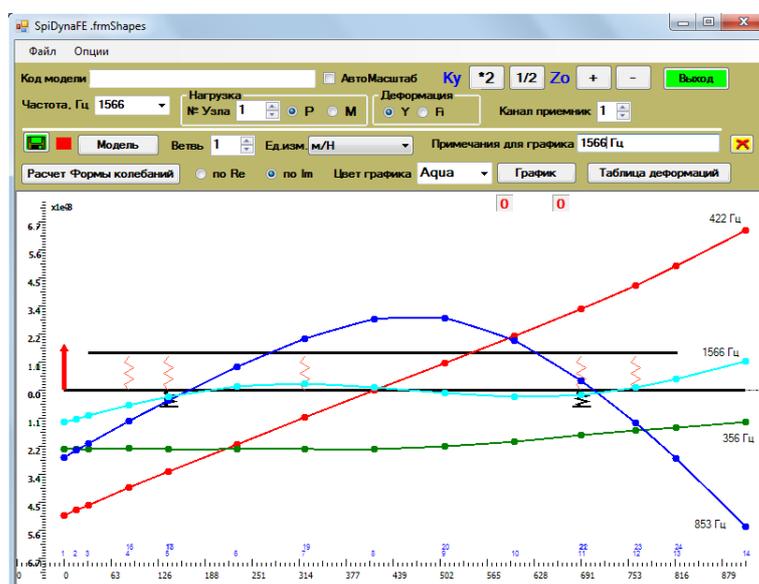


Рис. 3. Формы колебаний тела шпинделя и гильзы на собственных частотах

Изменение конструктивных параметров на динамические характеристики шпиндельного узла показало следующее:

- смещение передней опоры гильзы к краю способствует снижению амплитуды на 8 % и увеличению собственной частоты шпиндельного узла на 9 %;
- сближение задних опор шпинделя приводит к значительному увеличению амплитуды на частоте 670 Гц (с  $3,7 \cdot 10^{-8}$  м/Н до  $5,29 \cdot 10^{-8}$  м/Н) и относительно небольшому снижению амплитуды на частоте 422 Гц (с  $4,1 \cdot 10^{-8}$  м/Н до  $4,74 \cdot 10^{-8}$  м/Н);
- существенное положительное влияние на АЧХ шпиндельного узла оказывает смещение 2-й опоры шпинделя вплотную к 1-й – на частоте 422 Гц, амплитуда снизилась с  $5,02 \cdot 10^{-8}$  м/Н до  $4,16 \cdot 10^{-8}$  м/Н (–17 %), а на частоте 853 Гц – с  $2,24 \cdot 10^{-8}$  м/Н до  $1,73 \cdot 10^{-8}$  м/Н (–22,8 %);
- удаление 3-й опоры шпинделя отрицательно сказывается на АЧХ, происходит резкое возрастание амплитуды на частоте 621 Гц (более чем на 50 %);
- при добавлении центрального отверстия происходит незначительное снижение амплитуды (–4 %) на частоте 422 Гц и пика с частоты 853 Гц до 946 Гц.

Таким образом, разработанный программный комплекс Spidyna\_FE позволяет моделировать многослойные шпиндельные узлы, рассчитывать их частотные характеристики и формы колебаний методом конечных элементов. Использование программного комплекса при моделировании шпиндельного узла шлифовального станка позволило оценить различные варианты конструктивных изменений, оценить влияние жесткостных характеристик опор, которые зависят от предварительного натяга в подшипниках, предложить вариант конструкции с улучшенными динамическими характеристиками.

### Библиография

1. Хомяков В.С., Кочинев Н.А., Сабиров Ф.С. Исследование динамических характеристик шпиндельных узлов // Вестник МГТУ «Станкин». 2008. № 4. С. 15–22.
2. Хомяков В.С., Кочинев Н.А., Сабиров Ф.С. Экспериментальное и расчетное исследование динамических характеристик шпиндельных узлов // СТИН. 2009. № 3. С. 5–9.
3. Sabirov F., Suslov D., Savinov S. Diagnostics of spindle unit, model design and analysis // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Springer-Verlag London Ltd. Vol. 62 (9–12), 2012. Pp. 861–865, DOI: 10.1007/s00170-011-3848-7.
4. Хомяков В.С., Сабиров Ф.С. Экспериментальное исследование и моделирование гильзовой конструкции шпиндельного узла шлифовального станка // СТИН. 2012. № 5. С. 10–15.

5. Khomyakov V.S., Sabirov F.S. Spindle and sleeve in grinding machines // Russian Engineering Research. Vol. 32 (11–12). 2012. P. 733–737.
6. Щетинин В.С., Космынин А.В. Математическая модель расчета несущей способности высокоскоростного шпиндельного узла на газомагнитной опоре // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2010. № 8. С. 31–35.
7. Усакин К.С., Игнатьев А.А. Моделирование динамического состояния шпиндельного узла прецизионного токарного модуля // Вестник Саратовского гостехуниверситета. 2010. Т. 2, № 1. С. 89–97.
8. Гиловой Л.Я., Молодцов В.В., Чернусь Г.В. Исследование теплового состояния и температурных деформаций шпиндельного узла на комбинированных опорах методами имитационного моделирования // СТИН. 2009. № 6. С. 2–8.
9. Кудояров Р.Г., Башаров Р.Р. Расчетный метод определения траектории движения оси шпинделя станка при высокоскоростной обработке // Технология машиностроения. 2011. № 4. С. 26–29.
10. Захаров П.А., Четвержук Т.И., Гордеев А.Ф. Идентификация и моделирование деформационных свойств стыков металлорежущих станков // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 11 (148). С. 10–16.
11. Яхутлов М.М. Исследование напряженно-деформированного состояния структуры алмазных инструментов // Станки и инструмент. 2001. №11. С. 23–26.
12. Башаров Р.Р., Кудояров Р.Г. Моделирование точности обработки при концевом фрезеровании деталей // Известия вузов. Авиационная техника. 2013. № 1. С. 66–72.
13. Бровкова М.Б., Свиридов С.В. Динамический мониторинг технологического оборудования // Южно-Сибирский научный вестник. 2012. № 1. С. 19–21.
14. Козочкин М.П., Сабиров Ф.С., Суслов Д.Н., Абрамов А.П. Виброакустическая диагностика опор шпинделей станков для высокоскоростной обработки // СТИН. 2010. № 6. С. 17–21.
15. Сабиров Ф.С. Диагностика станков с использованием трехкомпонентных датчиков вибрации // Контроль. Диагностика. 2012. № 12 (174). С. 66–72.
16. Хомяков В.С. Учет демпфирования при динамических расчетах станков // СТИН. 2010. № 6. С. 9–13.
17. Сабиров Ф.С. Импульсный метод оценки динамических характеристик упругих систем станков // Справочник. Инженерный журнал. 2009. № 11. С. 38–43.

## РАЗРАБОТКА И ТЕСТИРОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

\*Тлибеков А.Х.<sup>2</sup>, Яхутлов М.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова*

<sup>2</sup>*ООО «Weber Co Mechanics»*

\*tlibekov@weber.ru

*Рассматриваются результаты разработки и тестирования комбинированного генетического алгоритма для решения многопараметрических, многокритериальных, мультимодальных задач оптимизации с ограничениями-неравенствами (задача математического программирования). Тестирование алгоритма выполнено аппроксимацией табличных данных дробно-степенными рядами. Показана возможность применения алгоритма к задачам проектирования технологических процессов.*

**Ключевые слова:** математическое программирование, генетические алгоритмы, многопараметрические задачи оптимизации, мультимодальные целевые функции, дробно-степенные ряды.

## DEVELOPMENT AND TESTING OF THE COMBINED GENETIC ALGORITHM FOR SOLVING THE PROBLEMS OF MATHEMATICAL PROGRAMMING

Tlibekov A.Kh.<sup>2</sup>, Yakhutlov M.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Kabardino-Balkarian State University*

<sup>2</sup>*ООО «Weber Co Mechanics»*

*Discusses the results of the development and testing of a combined genetic algorithm for solving multiparameter, liquid, multi-modal optimization problems with constraints-the inequalities (objective mathematical programming). Testing of the algorithm performed approximation of tabular data fractional-power series. The possibility of application of the algorithm to the tasks of designing of technological processes.*

**Keywords:** objective mathematical programming, genetic algorithm, multiparameter optimization problems, multimodal objective functions, the fractional-power series.

**Введение.** В проектировании конструкций оборудования и технологических процессов изготовления изделий в машиностроении используются математические модели, решение которых получают методами математического программирования. Для таких задач характерно большое количество параметров (многопараметрическая задача), изменяя которые в заданных пределах определяют значения критериев оптимальности (многокритериальная задача). Рассматривая критерии оптимальности, образующие целевую функцию, можно найти их оптимальные значения. Проблема состоит в том, чтобы выбрать наилучшее решение в условиях, когда гиперповерхность, задаваемая целевой функцией образована несколькими локальными экстремумами (мультимодальность). При этом один из экстремумов глобальный, соответствует решению задачи и существует вероятность определения одного из локальных экстремумов как глобального. Другая проблема – когда гиперповерхность, задаваемая целевой функцией имеет «разрывы», «границы» или «плато». В результате невозможно применить эффективные вычислительные алгоритмы, основанные на использовании производных.

Среди методов решения многопараметрических, многокритериальных и мультимодальных задач наиболее эффективными являются алгоритмы ЛП-поиска [1], поведенческие алгоритмы, например, метод пчелиного роя (bees algorithm) [2, 3] и генетические алгоритмы [4, 5].

В данной работе приведен комбинированный генетический алгоритм (КГА) и результаты его тестирования. Тестирование выполнялось решением задач аппроксимации табличных значений функции нескольких переменных дробно-степенными рядами. Проводится сравнение результатов решения с решением, полученным численным методом Ньютона.

**Постановка задачи математического программирования.** Задаются пределы изменения управляемых параметров  $\alpha_1, \dots, \alpha_r$ , или *параметрические ограничения*  $\alpha_j^* \leq \alpha_j \leq \alpha_j^{**}$ ,  $j = \overline{1, r}$ , которые образуют в  $r$ -мерном параллелепипеде  $\Pi$  допустимое множество  $D \in \Pi$ . Длина граней параллелепипеда  $I_j = \alpha_j^{**} - \alpha_j^*$  определяет длину интервала неопределенности.

Целевая функция или критерий оптимальности  $\Phi_v(\alpha)$ ,  $v = \overline{1, k}$  позволяет количественно сравнить альтернативные варианты управляемых параметров.

**Принцип оптимальности:** оптимальное решение найдено, когда все критерии оптимальности улучшили свои значения, т.е. те, которые должны увеличиться – увеличились, а те которые должны уменьшиться – уменьшились. Этот принцип называется принципом оптимальности по Парето, согласно которому требуется найти такое множество Парето  $P \in D$ , для которого  $\Phi(P) = \min_{\alpha \in D} \Phi(\alpha)$ , где  $\Phi(P) = \{\Phi_1(\alpha), \dots, \Phi_k(\alpha)\}$  – целевая функция. В результате решения определяют вектор управляемых параметров  $\alpha^0$ , принадлежащий множеству  $P$  и являющейся наиболее предпочтительным (или оптимальным) из всех векторов этого множества.

**Комбинированный генетический алгоритм.** Алгоритм (см. рисунок) построен на основе комбинации двух методов: пассивного поиска минимума [6] и генетического алгоритма:

1. Формирование вариантов управляемых параметров модели (детерминированный метод). Для каждого управляемого параметра выполняется деление интервала неопределенности  $I_j$  на  $F_q$  равноотстоящих точек, где  $F_q$  – число из последовательности Фибоначчи. Порядковый номер  $q \geq 10$  числа Фибоначчи назначается как целая часть числа, рассчитанного на основе максимальной длины интервала неопределенности  $I_{max}$ :  $q = 2\pi(|\lg(I_{max})| - 1)/e$ . Формируется матрица управляемых параметров: строки матрицы представляют линейную сетку по каждому управляемому параметру, столбцы матрицы содержат варианты управляемых параметров.

2. Расчет значений критериев оптимальности для вариантов управляемых параметров. В результате решения уравнений модели для каждого из вариантов управляемых параметров формируется матрица критериев оптимальности.

3. Поиск минимального значения целевой функции. Минимальное значение целевой функции  $\Phi_{min}(\alpha_{s,1}^0, \dots, \alpha_{s,r}^0) = \min \Phi_{s,min}$ , где  $\Phi_{s,min} = \sqrt{(\Phi_{s,1})^2 + \dots + (\Phi_{s,k})^2}$ ,  $s$  – номер итерации поиска;  $\alpha_{s,1}^0, \dots, \alpha_{s,r}^0$  – точка промежуточного оптимума (если  $s = 0$ , «нулевая точка»).

4. Сужение интервала неопределенности около точки промежуточного оптимума:  $\alpha_j^* = \alpha_j^0 - K_c I_j$ ,  $\alpha_j^{**} = \alpha_j^0 + K_c I_j$ , где  $K_c < 1,0$  коэффициент сужения интервала неопределенности.

5. Скрещивание.

5.1. Формирование начальной «популяции особей» (формирование вариантов управляемых параметров) детерминированным методом и методом случайных чисел.

5.2. Скрещивание «особей» методом «панмиксии». Генерируются случайные числа  $1 \leq t \leq K_t$  (целые числа) и  $0,0 \leq p \leq 1,0$ . Ситуация совпадения чисел  $t$  исключается. Каждому «гену» (или управляемому параметру) ставится в соответствие одно из чисел  $t$ . Брачная пара образуется выбором двух пар случайных чисел:  $t_1$  и  $t_2$ ;  $p_1$  и  $p_2 = 1,0 - p_1$ . Формируется новый «ген» (новое значение управляемого параметра)  $\alpha_j = p_1 \alpha_{t_1} + p_2 \alpha_{t_2}$ . Новые «гены» образуют новые «хромосомы» (вариант значений управляемых параметров) и новое поколение из  $K_t$  «особей» (все варианты значений управляемых параметров).

5.3. Вычисление «пригодностей хромосом». Для каждой «хромосомы» из начальной «популяции» вычисляется ее «пригодность» (или для каждого варианта управляемых параметров вычисляется значение целевой функции). Минимальному значению «пригодности» соответствует «перспективная хромосома». Поиск минимального значения «пригодности» (поиск минимального значения целевой функции) выполняется по методу п.3.



Рисунок. Блок-схема алгоритма

6. Мутации. Изменению подвергается каждый «ген» перспективной хромосомы  $\alpha_j^0$  в пределах  $\alpha_j^* \leq \alpha_j \leq \alpha_j^{**}$ . Вычисляются «пригодности» мутированных хромосом и выполняется поиск минимального значения «пригодностей» по методу п.3.

7. Расширение интервала неопределенности около точки промежуточного оптимума:  $\alpha_j^* = \alpha_j^0 - K_p I_j$ ,  $\alpha_j^{**} = \alpha_j^0 + K_p I_j$ , где  $K_p \geq 1,0$  – коэффициент расширения интервала неопределенности.

8. Остановка вычислений выполняется контролем принятого предельного числа циклов поиска  $S$  (количества «поколений особей») и заданной величины изменения целевой функции  $\Delta$  на каждом шаге итерации.

Пассивный поиск минимума реализован в первых четырех блоках алгоритма. В результате его работы определяется точка промежуточного оптимума, и работа генетического алгоритма (блоки 5 и 6) начинается на более узких интервалах неопределенности, которые содержат искомые оптимальные значения управляемых параметров. Циклическое сужение и расширение интервалов неопределенности обеспечивает исследование большого числа вариантов управляемых параметров, позволяющее надежно определить минимальное значение целевой функции.

**Тестирование алгоритма.** Тестирование выполнено методом аппроксимации табличных значений дробно-степенным рядом.

Таблицы тестовых данных были образованы  $N$  значениями функции в зависимости от  $d$  переменных (см. таблицу). Аппроксимация производилась по ограниченной выборке из  $k$  табличных значений дробно-степенным рядом Пуизё (Ряд Пуизё с одной переменной – это алгебраическое выражение вида:  $F(X) = \sum_{n=n_0}^{+\infty} a_n X^{m/m}$ , в котором число  $n_0$  – целое, число  $m$  – натуральное (при  $m = 1$  получается обычный степенной ряд), коэффициенты  $a_n$  – рациональные числа. В данной работе для аппроксимации табличных значений функции от нескольких переменных предлагается использовать ряд Пуизё, включающий суммы и произведения переменных).

$$f(\alpha) = \sum_{i=1}^d A_i x_i^{\lambda_i} + \sum_{i=1}^{d-1} B_i x_i^{\beta_i} x_{i+1}^{\gamma_i} + B_{1d} x_1^{\beta_d} x_d^{\gamma_d} + C \prod_{i=1}^d x_i^{\delta_i},$$

где управляемые параметры  $\alpha$  обозначены как  $A, B, C, \beta, \gamma, \delta, \lambda$ , причем для  $d=1$ ,  $f(\alpha) = Ax^{\lambda}$ , для  $d=2$ ,  $f(\alpha) = A_1 x_1^{\lambda_1} + A_2 x_2^{\lambda_2} + B x_1^{\beta} x_2^{\gamma}$ .

Аппроксимация табличных данных также выполнена методом Ньютона. Его использование для аппроксимации дробно-степенным рядом, если удастся исключить нулевые значения аргументов, обеспечивает устойчивость вычислительного процесса.

Точность аппроксимации рассчитывалась по формуле  $\varepsilon = (\Phi_p - \Phi_r) / \Phi_r$ , где  $\Phi_p$  и  $\Phi_r$  – суммы расчетных и табличных значений критериев оптимальности.

Таблица

Результаты аппроксимации табличных данных методом КГА и методом Ньютона

d	N	k	r	$\Phi_r$	Метод КГА			Метод Ньютона	
					$\Phi_p$	S	$\varepsilon, \%$	$\Phi_p$	$\varepsilon, \%$
1	41	12	2	1106	1215	38	-9,86	121,5	-9,86
2	38	7	7	1,464	1,454	790	-0,69	1,466	0,14
3	23	4	19	8,92	8,90	674	-0,27	8,91	-0,07
4	594	38	25	1094,6	1100,3	1004	0,51	1071,3	-2,13

**Анализ полученных результатов и выводы.** Предложенный метод аппроксимации используется в практике проектирования технологических процессов, когда по ограниченному числу рассчитанных в САМ-системах или полученных хронометражом норм времени обработки деталей из листа, необходимо достоверно определить время обработки всей программы деталей [7]. В таблице представлены задачи, решенные в ряде проектов.

Первый тест ( $d=1$ ) – определение периметра детали из листа по площади ее поверхности. Тестовая таблица содержала значения площади поверхности и периметра для 41 детали ( $N=41$ ). Сумма всех периметров равнялась 1106 мм. ( $\Phi_r = 1106$ ). Использованием выборки из 12 деталей ( $k = 12$ ) методом аппроксимации получена величина периметра всех деталей, равная 1215 мм. ( $\Phi_p=1215$ ). Погрешность аппроксимации не превысила 10%.

Второй тест ( $d=2$ ) – определение времени обработки деталей (мин) на координатно-револьверном прессе (здесь и далее приводятся данные, полученные при эксплуатации оборудования компании LVD (Бельгия) для обработки листа, эксклюзивным представителем которой в России и странах СНГ является ООО «Weber Co Mechanics») в зависимости от количества ударов инструмента ( $x_1$ ) и количества смен инструмента ( $x_2$ ), необходимых для изготовления детали. Аппроксимация с использованием выборки из 7 деталей позволила рассчитать общее время обработки 38 деталей с погрешностью менее 1 %.

Третий тест ( $d=3$ ) – определение времени гибки деталей (мин) на прессе для свободной гибки в зависимости от максимальной высоты полки ( $x_1$ ), массы детали ( $x_2$ ) и количества линий гибки ( $x_3$ ). Аппроксимация с использованием выборки из 4 деталей позволила рассчитать общее время обработки 23 деталей с погрешностью менее 0,5 %.

Четвертый тест ( $d=4$ ) – время резки детали (мин) на машине для лазерной резки в зависимости от толщины листа ( $x_1$ ), периметра внутренних и наружных контуров ( $x_2$ ), предела прочности материала листа при растяжении ( $x_3$ ) и количества врезок ( $x_4$ ). Аппроксимация с использованием выборки из 38 деталей позволила рассчитать общее время обработки 594 деталей с погрешностью около 0,5 %.

Результаты тестирования показывают, что использование КГА для аппроксимации времени обработки на различном оборудовании дробно-степенными рядами позволяет выполнить расчеты с погрешностью, допустимой для практического использования.

Использование метода Ньютона также обеспечивает высокую точность аппроксимации, причем время вычислений у этого метода гораздо меньше. Для сравнения: решение тестовых задач методом

КГА для  $d=1$  составило 0,48 мин; для  $d=2$  – 7,78 мин; для  $d=3$  – 8,27 мин; для  $d=4$  – 1 час 3 мин; время расчета методом Ньютона не превышало 1,5 мин. для каждой из тестовых задач. Это объясняется тем, что увеличение количества управляемых параметров модели с  $r = 2$  до  $r = 25$  (см. таблицу) увеличивает число циклов поиска с  $S = 38$  до  $S = 1004$ . Однако решение задач аппроксимации методом Ньютона имеет недостаток – точность расчета зависит от выбора начальных значений управляемых параметров: в процессе тестирования установлено, что в зависимости от значений управляемых параметров, с которых начинаются вычисления, в случае мультимодальной целевой функции ( $d > 1$ ) погрешность аппроксимации составляла более 100 %. Выполнить тесты методом Ньютона с погрешностью, показанной в таблице, позволил длительный подбор начальных значений управляемых параметров. Работа алгоритма по методу КГА не требует задавать начальные значения управляемых параметров. Они устанавливаются в процессе пассивного поиска минимума и корректируются при сужении и расширении интервалов неопределенности.

### **Библиография**

1. Статников И.Н., Фирсов Г.И. ППП-поиск – эвристический метод решения прикладных задач оптимизации // Практика применения научного обеспечения в образовании и научных исследованиях. СПб.: СПбГУ, 2003. С. 54–57.
2. Karaboga D. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization // Technical report – TR06. Erciyes University. Engineering Faculty. Computer Engineering Department 2005.
3. Pham D.T., Ghanbarzadeh A., Кос E., Otri S., Rahim S., Zaidi M. The Bees Algorithm // Technical Note. Manufacturing Engineering Centre. UK: Cardiff University, 2005.
4. Исаев С.А., Виндман П.А. Оптимизация многоэкстремальных одномерных функций с помощью генетических алгоритмов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Сер. Математическое моделирование и оптимальное управление. 2003. № 1. С. 180–189.
5. Тенеев В.А. Решение задачи многокритериальной оптимизации генетическими алгоритмами // Интеллектуальные системы в производстве. 2006. № 2. С. 103–109.
6. Тлибеков А.Х., Досько С.И. Прикладные задачи моделирования и оптимизации механических систем: учебное пособие для аспирантов и магистров // Palmarium Academic Publishing. 2012. 252 с.
7. Тлибеков А.Х. Эффективность проекта модернизации производства деталей из листа // Металлообработка. 2012. № 3 (69). С. 45–51.

## ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ МНОЖЕСТВЕННОМ СИЛОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

\*Досько С.И.<sup>1,2</sup>, Гусаров С.В.<sup>2</sup>, Юганов Е.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт конструкторско-технологической информатики РАН*

<sup>2</sup>*МГТУ «СТАНКИН»*

\*dosko@mail.ru

*В теории и практике автоматического управления техническими системами эффективно используются понятия передаточных функций, элементарного блока и структурной схемы.*

**Ключевые слова:** структурный анализ, механическая система, передаточная функция, диагностическая модель, коэффициент влияния, мода.

## DIAGNOSTIC MODEL OF MECHANICAL SYSTEMS IN MULTIPLE FORCE EFFECTS

Dosko S.I.<sup>1,2</sup>, Gusarov S.V.<sup>2</sup>, Yuganov E.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Design-Technological Informatics of RAS*

<sup>2</sup>*Stankin MSTU*

*In theory and practice of automatic control of technical systems effectively use the concepts of transfer functions, elementary block and the block diagram.*

**Keywords:** structural analysis, mechanical system, the transfer function, diagnostic model, the coefficient of influence, mode.

Как известно, передаточная функция (или импульсная передаточная функция) системы с сосредоточенными параметрами содержит в себе всю информацию о системе в целом. Из скалярного характеристического уравнения системы могут быть определены собственные частоты системы и собственные вектора, с помощью которых решаются, например, задачи оценки качества переходных процессов и устойчивости системы в целом.

В системах с распределенными параметрами ее передаточная функция (матрица передаточных функций) также содержит в себе всю информацию о системе [1]. Знание передаточной функции позволяет построить или оценить переходные процессы под действием произвольных внешних сигналов. В распределенных системах появляются новые важные внутренние характеристики систем. Это собственные числа и собственные функции. Описание систем с помощью импульсных переходных функций и соответствующих им передаточных функций в случае стационарных систем, безусловно, является общим способом описания линейных систем управления с распределенными параметрами, что включает в себя описание с помощью дифференциальных, интегральных и интегродифференциальных уравнений с частными производными. Такими уравнениями описываются такие физические процессы, как процессы диффузии, теплопроводности, распространения колебаний и волн в пространстве, процессы гидро- и аэродинамики, упругости и пластичности и др.

При решении проблем, связанных с распределенностью объектов в пространстве, системы разбивают на отдельные, так называемые «сосредоточенные» системы. При аппроксимации распределенной системы сосредоточенной системой, с физической точки зрения, речь идет о разбиении пространственной области, в которой определен распределенный объект, на конечное число небольших областей. Внутри каждой малой области производится усреднение распределенных параметров, т.е. внутри каждой такой малой области система представляется как сосредоточенная. В результате распределенная система представляется как взаимосвязанная система, состоящая из ряда сосредоточенных подсистем. Такая процедура носит название схематизации.

Первый аспект – это возможность диагностирования функционального состояния по статистическим и динамическим характеристикам протекания рабочего процесса и процессов управления. Второй аспект – возможность диагностирования структурного состояния, характеризуемого совокупностью свойств конструкции: геометрией конструктивных элементов (размерами и формой), взаимосвязями деталей ( посадками, зазорами, углами и т.д.), состоянием материала (напряженностью, температурой).

Построение математической модели вибрационного состояния конструкции исходя из концепции взаимодействия источника вибровозмущения с трактом, очевидно, следует начинать с рассмотрения вибрационного движения в ней как колебательного процесса в некоторой динамической системе, колеблющейся около положения равновесия.

Для построения диагностической модели будем использовать представление о механической системе в частной области в виде системы со многими входами и выходами (внешнее описание) [2, 3]. Будем считать, что на систему действуют одновременно  $L$  силовых факторов, и входы пронумерованы так, что воздействия приложены с 1-го по  $L$ -й входы.

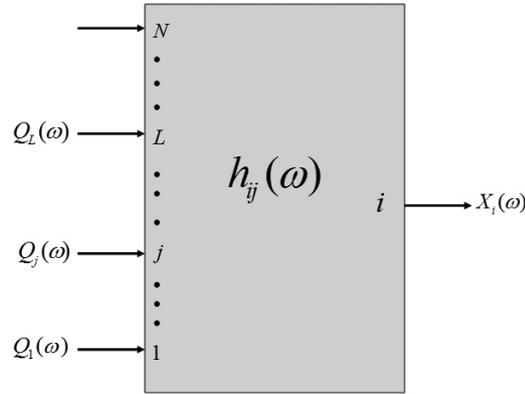


Рис.1. Модель механической системы в случае  $L$  разных силовых факторов на входе

Пусть регистрируется реакция по  $i$ -му выходу  $x_i(t)$ , и его преобразование Фурье есть  $X_i(\omega)$ , и необходимо установить его связь со входными воздействиями. Известно, что передаточная функция между  $j$ -м входом и  $i$ -м выходом имеет следующий вид [4]:

$$h_{ij}(\omega) = \sum_{k=1}^m \frac{e_{ijk}}{1 - (\omega/\omega_{0k})^2 + j2\xi_k(\omega/\omega_{0k})} = \sum_{k=1}^m \frac{e_{ijk}}{D_k(\omega)}. \quad (1)$$

Для линейной системы можем принять, что реакция по  $i$ -му выходу равна сумме реакций от всех входов, тогда, опуская  $(\omega)$ , для комплексных амплитуд получим:

$$X_i = \sum_{j=1}^L X_{ij} = \sum_{j=1}^L Q_j h_{ij} = \sum_{j=1}^L Q_j \sum_{k=1}^m \frac{e_{ijk}}{D_k}. \quad (2)$$

Учитывая перестановочное свойство сумм [3], имеем:

$$\begin{aligned} X_i &= \sum_{j=1}^L \sum_{k=1}^m \frac{Q_j e_{ijk}}{D_k} = \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^L \frac{Q_j e_{ijk}}{D_k} = \sum_{k=1}^m \frac{\sum_{j=1}^L Q_j e_{ijk}}{D_k} = \sum_{k=1}^m \frac{\alpha_{ik}}{D_k} = \\ &= \sum_{k=1}^m \frac{\alpha_{ik}}{1 - (\omega/\omega_{0k})^2 + j2\xi_k(\omega/\omega_{0k})}. \end{aligned} \quad (3)$$

Таким образом, выражение для  $i$ -го отклика механической системы при многоточечном возбуждении будет иметь вид:

$$X_i(\omega) = \sum_{k=1}^m \frac{\alpha_{ik}(\omega)}{1 - (\omega/\omega_{0k})^2 + j2\xi_k(\omega/\omega_{0k})}. \quad (4)$$

В знаменателе каждой моды  $D_k(\omega)$  в явном виде присутствуют собственные частоты и модальные коэффициенты демпфирования механической системы (глобальные характеристики) и видно, что знаменатели независимы от входов и выходов. Числители  $\alpha_{ik}(\omega) = \sum_{j=1}^L Q_j(\omega) e_{ijk}$  определяются характери-

стиками трактов  $e_{ijk}$ , т.е. определяется входами и выходами, а также и спектрами силовых воздействий.

При  $\omega = 0$   $X_i(0) = \sum_{k=1}^m \alpha_{ik}(0)$ .

Если все силовые воздействия порождаются одним источником (рис. 2), т.е.  $Q_j(\omega) = \beta_j Q(\omega) = \beta_j Q(\omega), j = 1, \dots, L$ , то можно определить передаточную функцию от этого источника к  $i$ -му выходу как

$$h(\omega) = \frac{X_i(\omega)}{Q(\omega)} = \sum_{k=1}^m \frac{\alpha_{ik}(\omega)}{1 - (\omega/\omega_{0k})^2 + j2\xi_k(\omega/\omega_{0k})} \quad (5)$$

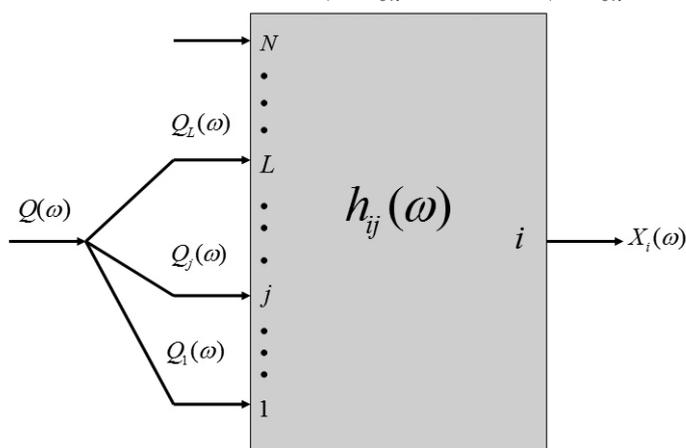


Рис. 2. Модель механической системы в случае, когда все силовые факторы имеют один источник

Так как

$$\alpha_{ik}(\omega) = \sum_{j=1}^L Q_j(\omega) e_{ijk} = \sum_{j=1}^L \beta_j Q(\omega) e_{ijk} \quad (6)$$

то

$$h(\omega) = \sum_{k=1}^m \frac{\tilde{\alpha}_{ik}}{1 - (\omega/\omega_{0k})^2 + j2\xi_k(\omega/\omega_{0k})} \quad (7)$$

Коэффициенты влияния  $\tilde{\alpha}_{ik} = \sum_{j=1}^L \beta_j e_{ijk}$  не зависят от частоты  $\omega$ . Коэффициенты  $\beta_j$  зависят от

способа передачи силового воздействия от источника на входы механической системы, коэффициенты  $e_{ijk}$  (модальные податливости) определяются упругими и инерционными свойствами самой механической системы. Необходимо отметить, что на использовании выражений (1) и (2), в частности, основан так называемый анализ трактов сигналов [5].

Авторы надеются, что представленная диагностическая модель механической системы будет интересной и полезной в практических исследованиях, например, как модель конструкции при виброиспытаниях на стенде при гармоническом и ударном возбуждении, при установках оборудования на фундаментах и т.д.

### Библиография

1. Бутковский А.Г. Структурная теория распределенных систем. М.: Наука, 1977. 320 с.
2. Вибрации в технике. Т. 5. М.: Машиностроение, 1981.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М.: Наука, 1978.
4. Тлибеков А.Х., Досько С.И. Моделирование и оптимизация механических систем приводов технологических машин: учебное пособие. М.: Станкин, 2004.
5. Хейлен В., Ламменс С., Сас П. Модальный анализ: теория и испытания. М.: Новатест, 2010.

## ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СОЦИОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Карлова Т.В., Бекмешов А.Ю., \*Запольская А.Н.

*Институт конструкторско-технологической информатики РАН*

\*zap-ann@yandex.ru

*В статье предложен подход, на основе которого производство рассматривается как коллектив распределенных социально-управленческих систем, обладающих своим конкретным поведением. Данное утверждение побуждает к развитию новых методов исследования и проектирования социально-управленческих систем, ориентированных на описание и учет их поведенческого аспекта.*

**Ключевые слова:** социодинамика, производственная среда, система управления.

## BEHAVIORAL MODELS OF SOCIODYNAMIC CONTROL SYSTEMS

Karlova T.V., Bekmeshov A.Y., Zapolskaya A.N.

*Institute of Design-Technological Informatics of RAS*

*This article proposes an approach, based on which the production is considered as a distributed team of socio-management systems with their specific behavior. This statement encourages the development of new research methods and design of socio-management systems aimed at keeping their description and a behavioral aspect.*

**Keywords:** sociodynamics, industrial environment, management system.

Производственная среда представляет собой сложное соединение социально-экономической и технической систем, интегрирующее для осуществления совместной деятельности и достижения общих целей разнообразные ресурсы, факторы, людей и организации.

В основе социально-экономической части системы лежит совокупность общественных, коллективных (групповых) и личных интересов, в которой активным элементом выступает человек, оказывающий влияние на ее состояние и развитие. Рациональные системы являются жизнеустойчивыми, подвижными, имеют способность к самоуправлению и самоорганизации.

Существующие в производственной среде системы относятся к динамическим, которые постоянно меняют свои параметры во времени и являясь многоуровневыми, состоящими из входящих в них организаций. Каждую организацию, в свою очередь, можно рассматривать как самостоятельную социально-экономическую систему.

Производственные системы принадлежат к развивающимся системам, в которых одновременно протекают процессы функционирования и развития. В процессе функционирования они реализуют свою основную производственную функцию, в процессе развития проходят качественные преобразования в производственной деятельности.

Производственные системы относятся к стохастическим системам, поведение которых можно предсказывать только в вероятностных категориях. Вероятностный характер производственных систем обусловлен как общей политической и экономической ситуацией в стране и другими переменными факторами внешней среды, так и наличием неопределенности в поведении самой системы и ее элементов. Общей целью системы управления в производстве является обеспечение стабильности и эффективности его функционирования [1].

Анализ функциональной структуры интегрированной производственной системы показал, что она имеет существенно распределенный характер – в том смысле, что каждая из функций управления жизненным циклом имеет свою интерпретацию во всех фазах жизненного цикла на всех уровнях социально-управленческой иерархии. При этом подавляющее большинство связей между функциями носит управленческий характер. Из этого следует, что производство необходимо рассматривать как коллектив распределенных социально-управленческих систем, обладающих своим поведением. Соответственно, требуется развитие новых методов исследования и проектирования социально-управленческих систем, ориентированных на описание и учет их поведенческого аспекта.

Под функциональным представлением системы понимается совокупность действий (функций), которые необходимо выполнять для реализации целей функционирования системы.

Макроскопическое представление характеризует систему как единое целое, находящееся в системном окружении (среде). Это означает, что реальная система не может существовать вне системного окружения (среды), а окружающая среда представляет собой ту систему, в рамках которой выбраны интересующие нас объекты. Следовательно, система может быть представлена множеством внешних связей со средой.

Иерархическое представление основано на понятии подсистемы и рассматривает всю систему как совокупность подсистем, связанных иерархически.

Социодинамический подход дает возможность моделировать процессы в производственной среде, используя математические методы [2]. Элементами социально-экономических систем в производственной среде являются индивиды, каждый из которых представляет собой сложную подсистему, поэтому качественное исследование социально-экономической системы необходимо провести до ее количественного описания.

Качественный анализ ставит задачу определить, какие тенденции и модели индивидуального поведения активизированы и релевантны, а какие пассивны и иррелевантны в той или иной ситуации. Этот анализ является необходимой предпосылкой для выбора переменных на микро-, мезо- и макроуровне. В противоположность этому переменные в естественных системах, например, в физических, всегда легко определяются, и в соответствующих динамических уравнениях появляются природные и материальные константы, независимые от внешней ситуации.

Количественные модели не могут охватить все разнообразие качественных признаков социально-экономической системы. Наоборот, только модели, разработанные для оптимального или ограниченного количества переменных и параметров трендов, оказываются пригодными и полезными для исследования динамики социально-экономической системы.

Сконструированная количественная модель одного из секторов производственной среды должна, таким образом, объединять несколько тщательно отобранных ключевых переменных и относительно небольшое количество контролируемых или постоянных параметров трендов [3]. Структуры таких моделей определяют диапазон их применимости и одновременно их ограничения.

Качественный анализ социально-экономической системы производственной среды должен предшествовать количественному моделированию, при этом количественный подход является дополнительным к качественному подходу. Однако разрыв между качественными и количественными исследованиями не является принципиальным.

С качественной точки зрения, анализ будет успешным, если сделан верный выбор из множества соответствующих ключевых характеристик социально-экономической системы и выполнены качественные оценки взаимосвязей этих характерных особенностей.

В результате получения оценки относительно порядка величины этих характеристик и их взаимных влияний, можно прийти к определенным заключениям о динамике системы, а именно о возрастании или уменьшении некоторых характеристик, взаимодействий и влияний. Это означает, что качественное описание системы и ее эволюции во времени по умолчанию предполагает определение количества или величины, силу или интенсивность релевантных характеристик. С одной стороны, это является первым существенным шагом к количественному описанию.

С другой стороны, потенциал количественных моделей также включает качественные изменения в природе системы.

Пересечения или совмещения качественного и количественного аспектов создают возможность плодотворного взаимодействия между обеими формами исследований, которые в оптимальном случае приводят к оптимизации и усилению аргументации в процессе социодинамического моделирования.

Подобная форма взаимодействия качественного и количественного исследования является замкнутой процедурой, называемой петлей обратной связи.

Привлечение методов социодинамического моделирования в решении социально-управленческих проблем производственной среды необходимо потому, что в процессе управления организационными структурами и для принятия управленческих решений осуществляется выбор в условиях неопределенности, степень которой может быть значительно формализована на основе социального прогноза изменений социально-экономической и технической систем.

В большинстве случаев социальное прогнозирование позволяет учитывать различные варианты движения и развития социума. Выработка верных прогнозов позволяет сделать более совершенным и эффективным управленческую деятельность.

### **Библиография**

1. Карлова Т.В., Бекмешов А.Ю. Анализ социально-экономических факторов эффективности производства // Информационные технологии в технических и социально-экономических системах: сборник научных трудов МГТУ «Станкин». Вып. 2 / под ред. Ю.М. Соломенцева. М.: Янус – К, 2003. С. 56–60.
2. Карлова Т.В. Системные принципы объекта управления: социологический анализ: монография. М.: Янус – К, 2004. 220 с.
3. Вайдлих В. Социодинамика: системный подход к математическому моделированию в социальных науках: пер. с англ. / под ред. Ю.С. Попкова, А.Е. Семечкина. Изд. 2-е, стереотипное. М.: Едиториал УРСС, 2005. 480 с.

**МНОГОУРОВНЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ  
КАК ЭЛЕМЕНТ СОЦИАЛЬНО-УПРАВЛЕНЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ**

**Карлова Т.В., Бекмешов А.Ю., \*Запольская А.Н.**

*Институт конструкторско-технологической информатики РАН*

\*zap-ann@yandex.ru

*В статье предложен системный подход к построению социально-управленческого комплекса защиты информации с учетом всех взаимосвязанных, взаимодействующих и изменяющихся во времени элементов, условий и факторов, значимых для понимания и решения проблемы обеспечения безопасности предприятия.*

**Ключевые слова:** социодинамика, производственная среда, система управления, информация.

**MULTILEVEL GOVERNANCE OF CONFIDENTIAL INFORMATION  
AS THE ELEMENT FOR SOCIAL MANAGEMENT COMPLEX OF COMPANIES SECURITY**

**Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu., Zapolskaya A.N.**

*Institute of Design-Technological Informatics of RAS*

*This article proposes systematic approach to building social and management complex information protection with all interrelated, interacting and time-varying elements, conditions and factors that are relevant to understanding and addressing enterprise security.*

**Keywords:** sociodynamics, industrial environment, management system, information.

Принятие решений во всех сферах жизнедеятельности предприятия или организации все в большей степени базируется на информационных процессах. Анализ этих процессов с последующей выработкой управляющих решений руководителем предприятия осуществляется с помощью коммуникационных моделей, построенных на основе современных информационных технологий. В связи с этим защита информации представляет собой самостоятельную составляющую безопасности предприятия в целом, значение которой с каждым годом растет.

В ведущих странах мира сложилась четко очерченная система концептуальных взглядов на проблемы обеспечения информационной безопасности.

Для решения задач защиты информации на предприятии создается комплексная система защиты конфиденциальной информации.

Принцип системности требует применения системного подхода в качестве методологической базы при анализе и синтезе комплексной системы защиты информации. Основная цель системного подхода заключается в формализации вербальных описаний и составлении алгоритма деятельности. При этом оценка эффективности мероприятий безопасности не ограничивается одним только рассмотрением самой системы, также учитывается и влияние на нее внешних факторов. Применение системного подхода при разработке технологий управления безопасностью позволяет реализовать синергетический эффект, который является результатом социального взаимодействия управленческих структур, приводящим к равновесному состоянию функционирования системы.

Системный подход к построению социально-управленческой системы защиты информации предполагает необходимость учета всех взаимосвязанных, взаимодействующих и изменяющихся во времени элементов, условий и факторов, значимых для понимания и решения проблемы обеспечения безопасности предприятия [1].

Принцип комплексности предполагает, что система защиты предприятия должна включать совокупность объектов защиты, сил и средств, принимаемых мер, проводимых мероприятий и действий по обеспечению безопасности персонала, материальных и финансовых средств от возможных угроз всеми доступными законными средствами, методами и мероприятиями.

Принцип своевременности означает, что меры защиты не должны «запаздывать».

Принцип непрерывности реализуется на основе непрерывного целенаправленного процесса (процессного подхода), предполагающего принятие соответствующих мер на всех этапах жизненного цикла систем предприятия.

Центральное место в сложной, многогранной и трудоемкой деятельности по организационному управлению на разных уровнях системы защиты информации занимают процессы подготовки и принятия решений.

При реализации управленческих решений выделяются различные этапы, стадии и операции, которые с достаточной степенью общности относятся к процессам, осуществляемым органами управления всех уровней иерархии. Отдельные этапы, стадии и операции реализуются с использованием своих специфических методов, способов или процедур, более или менее формализованных, а зачастую нестандартных, творческих.

Таким образом, можно выделить определенные технологии принятия управленческих решений как взаимосвязанные совокупности методов, способов и процедур анализа ситуаций, постановки проблем, выработки, оценки и выбора вариантов решений, организации и контроля их выполнения.

В подготовке решений при создании системы защиты конфиденциальной информации принимают участие должностные лица, находящиеся на различных уровнях управления, а окончательное решение принимается на индивидуальном уровне лицом, занимающим высший управленческий статус.

Подготовка и принятие решений является сложным творческим процессом, при котором лицо, принимающее решение, сталкивается с огромным количеством разнообразных факторов, имеющих противоречивый характер, а степень риска принятия ошибочного решения достаточно высока. Это, конечно, не означает, что процесс выработки решения строится лишь на субъективных особенностях руководителя. Несомненно, каждый думает по-своему, подходит к решению со свойственными ему особенностями, но вместе с тем существует логическая последовательность, придерживаясь которой можно более организованно, рационально прийти к нужному решению.

Персонал предприятия считается одним из наиболее важных объектов защиты, так как является не только носителем информации с ограниченным доступом, но и источником создания такой информации. Сложность персонала как объекта защиты заключается не только в отсутствии возможности постоянного контроля за его действиями, особенно в неслужебное (нерабочее) время, но и в его уязвимости, обусловленной, например, возможностью подкупа, преследования им корыстных целей, воздействия на сотрудников и членов их семей с целью шантажа, возможности похищения и т.п. Подбор и расстановка кадров осуществляются из двух источников – внутренних перестановок и за счет найма на рынке труда.

Учитывая разнообразие видов тайн, специфику нормативных требований по защите каждой из них, под службой защиты конфиденциальной информации в общем виде будем понимать структурные подразделения предприятия, специально созданные для выполнения задач защиты информации (независимо от ее вида).

Использование различных видов информации ограниченного доступа в управленческой и производственной деятельности предприятия является сложным процессом.

Примером организации системы защиты конфиденциальной информации в рамках машиностроительного предприятия может служить проектируемая автоматизированная система разграничения доступа сотрудников предприятия к конструкторской информации, представляющая собой распределенную систему, субъектами которой являются сотрудники предприятия, относящиеся (рисунок) [2]: к отделам предприятия (плановый отдел, конструкторский отдел, технологический отдел, отдел технического контроля, отдел стандартизации и т.д.); к отделу безопасности предприятия (секретной документации); к внешним специальным службам.

Система защиты конфиденциальной информации должна обеспечить взаимодействие этих субъектов. Из приведенной выше схемы (см. рисунок) видно, что именно через автоматизированную систему разграничения доступа сотрудников предприятия к конструкторской информации должны проходить все информационные потоки на предприятии.

При построении данной системы необходимо удовлетворить все требования, которые предъявляются к системам защиты конфиденциальной информации, а также с точки зрения полезности, чтобы иметь доступ только к нужной информации [3]. Описанный выше подход обеспечит высокую производительность труда сотрудников предприятия.

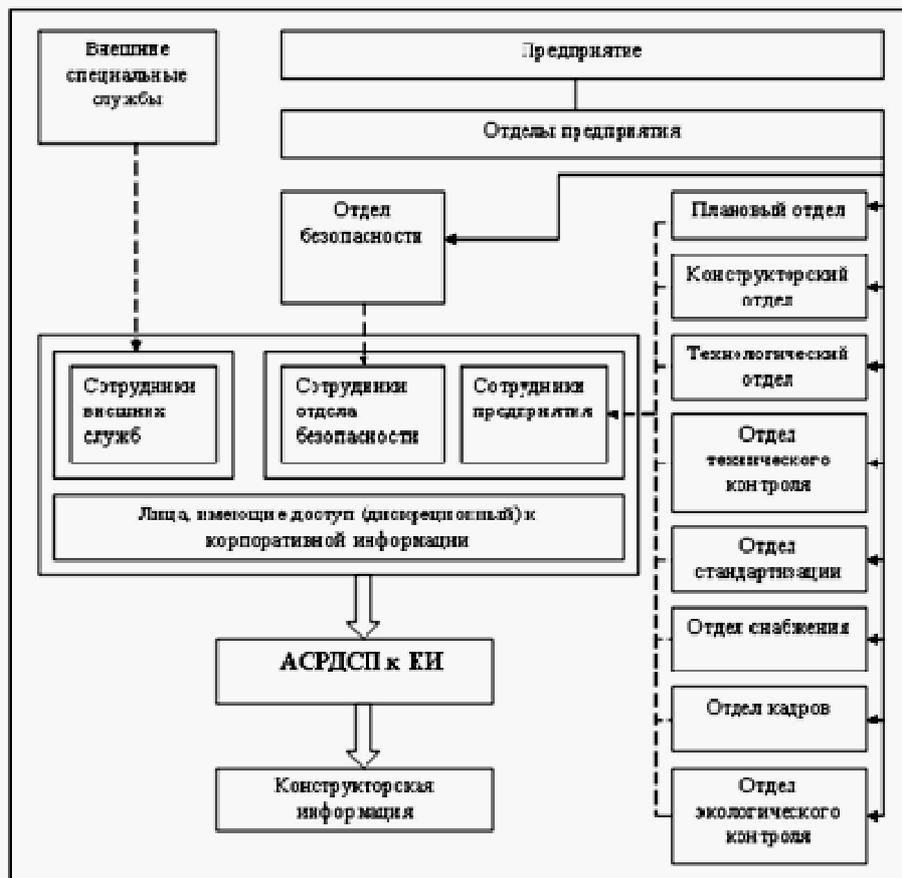


Рисунок. Автоматизированная система разграничения доступа сотрудников предприятия к конструкторской информации

Социальное взаимодействие между персоналом предприятия и службой защиты конфиденциальной информации должно быть обеспечено путем определения соответствующих обязанностей персонала предприятия и предоставления соответствующих полномочий службе защиты конфиденциальной информации.

Разработанная социологическая концепция обеспечения многоуровневого управления конфиденциальной информацией позволяет ограничить доступ персонала предприятия в соответствии с их социальными взаимодействиями и должностными обязанностями.

### Библиография

1. Карлова Т.В. Системные принципы объекта управления: социологический анализ: монография. М.: Янус – К, 2004. 220 с.
2. Кузнецова Н.М. Обеспечение многоуровневого доступа сотрудников предприятия к конструкторской информации с позиции конфиденциальности и полезности // Автоматизация и информационные технологии (АИТ-2010): студенч. научн.-практич. конф. М.: Станкин, 2010. 119 с.
3. Хорев П.Б. Методы и средства защиты информации в компьютерных системах: учеб. пособие для вузов. 4-е изд. М.: Академия, 2008. 256 с.

## ОТРАЖЕНИЕ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ И ПРЕОБРАЗУЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В ПРЕДМЕТНЫХ ЗАДАЧАХ

Петросян В.Г., \*Насипов А.Ж., Газарян Р.М.

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова*

\*alanda@rambler.ru

*В работе рассматриваются актуальные вопросы технологии познавательной и преобразующей деятельности человека в процессе решения задач. Приведены этапы решения задач, модели деятельности человека в процессе познания и преобразования. Показывается необходимость и технология создания проблемных ситуаций педагогом.*

**Ключевые слова:** проблемная ситуация, ситуационная проблема, ситуационная задача, технология.

## REFLECTION OF COGNITIVE AND TRANSFORMATIVE HUMAN ACTIVITY IN SUBJECT TASKS

Petrosyan V.G., Nasipov A.Zh., Gazaryan R.M.

*Kabardino-Balkarian State University*

*The article deals with actual questions of cognitive and transforming human activities in the process of solving problems. Steps to problem solving, models of human activity in the process of learning and transformation are given. The need and technology of creating problematic situations by the teacher are shown.*

**Keywords:** problematic situation, situational problem, situational task, technology.

При взаимодействии с окружающим миром у субъекта возникают потребности (преобразования, познавательные и т.д.) – вид нужды, которая является внутренним мотиватором активности и зависит от конкретной ситуации. В зависимости от вида проблем возникают **проблемные ситуации** (вызванные познавательными потребностями) и **ситуационные проблемы** (вызванные потребностями преобразования).

Ситуационная проблема означает такое затруднение в практике, для разрешения которого отсутствует опыт или теоретические пути решения. Ситуационная проблема для частичного разрешения требует построения гипотезы или некоторой концепции, которые преобразуют ситуационную проблему в ситуационную задачу – модель ситуационной проблемы. *Ситуационная задача* – это состояние системы, ситуация, в которой надо найти определенный порядок действий для достижения цели, разработать алгоритм её решения, что требует от участников определенных умений (интеллектуальных, коммуникативных и организационных).

На наш взгляд, процесс обучения учащегося соответствующей технологии преобразования можно свести к характерным этапам:

1. Осознание потребности преобразования как насущной или грядущей.
2. Поиск/постановка ситуационной проблемы.
3. Осознание и формулировка ситуационной проблемы.
4. Поиск противоречий и выдвижение/постановка проблемы.
5. Упрощение ситуационной проблемы, выделение главного, необходимого и формулировка ситуационных задач как моделей ситуационных проблем.
6. Идеализация, упрощение ситуационных проблем, осмысление ситуационных задач и формулировка задач/задачи как моделей проблем.
7. Поиск решения ситуационной задачи по соответствующим предписаниям (с выдвижением гипотез (пробы) и без них, с поиском аналогий и без них ...).
8. Проверка правильности решения задачи, рефлексия – обращение внимания субъекта на продукты деятельности с целью анализа допустимости использования принятого решения, пополнение банка технологий.
9. Обобщение решения (оформление алгоритма, пополнение банка эвристик).
10. Формирование социального опыта или его составляющей [1].

В перечисленных пунктах действия их результаты составляют элементы продуктивной преобразовательной деятельности учащегося.

Актуализация внутреннего и внешнего противоречия ситуационной проблемы создает предпосылки для технологической деятельности учащихся, которая начинается с попытки осознания затруднения и постановки ситуационных задач. Преобразующая деятельность связана с решением задачи, вытекающей из ситуационной проблемы, которая возникла как необходимость устранения препятствия, мешающего удовлетворению потребности, устранения или компенсации изменившихся условий среды, и ситуационная задача выступает как модель ситуационной проблемы.

Известно, что «организация» педагогом **проблемных ситуаций** ставит своей целью активизацию усилий учащихся по разрешению соответствующего **противоречия** (один из основных способов усиления мотивации учащихся). Обычно проблемная ситуация возникает при появлении у человека потребности познания, при решении познавательных задач. При появлении у человека потребности изменения окружающей среды, при появлении потребности в деятельности возникают обычно **ситуационные проблемы**.

В основе проблемной ситуации и в основе ситуационной проблемы лежат противоречия. Первая в большинстве своём разрешается научной проблемой, вторая – технологической проблемой. В общей системе знаний можно выделить две независимые группы знаний, составляющие основу обучения: 1) научные (я знаю, что это – X) и 2) технологические, или «процессуальные знания» (я знаю, как делать Y) [2]. Специфику научных и технологических знаний опишем в таблице, аналогичной приведенной в [2].

Актуализация внутреннего и внешнего противоречия проблемной ситуации создает необходимые предпосылки для развертывания учебно-поисковой деятельности учащихся, которая начинается с попытки осознания затруднения и постановки проблемы [3].

Таблица

**Специфика научных и технологических знаний в сравнении**

Параметры	Естественные науки	Технология
Цель	Объяснять и предсказывать	Преобразовывать
Продукты	Понятия, законы, теории	Изделия, системы, среды
Характеристики продуктов	Универсальные Абстрактные Идеализированные	Конкретные Контекстуально обоснованные Имеющие культурные корни
Методы	Наблюдение Эксперимент Гипотеза Абстрагирование Идеализация и др.	Использование научных знаний Создание опытных образцов Деление процесса на операции Дискретизация процесса Дискретизация объекта
Критерии	Соответствие практике Повторяемость Признание научной общественностью	Эффективность Экологическая безопасность Экономичность Этические и эстетические нормы
Конечный результат	Удовлетворение потребностей познания	Удовлетворение потребностей преобразования

Итогом оценки ситуации, опирающейся на рефлексивный контроль собственных действий, является не только осознание факта недостаточности способов действия, но и причин их недостаточности [4]. Как нам кажется, на основе такого анализа **проблемная ситуация превращается в ряд задачных ситуаций**, через осознание возникших задач.

По нашему мнению, этот этап проблемного обучения важнейший для формирования научного мировоззрения учащихся. С одной стороны, его прохождение является объективно необходимым для дальнейшего разрешения противоречия. С другой стороны, навыки прохождения такого этапа становятся бесценными для формирования способности к самостоятельному научному творчеству. В переходе от обнаруженной проблемной ситуации до постановки задачи необходимо решить «ряд проблем и задач», составляющих так называемый **вектор познания** (рис. 1). Отсюда следует, что нахождение проблемной ситуации и постановка проблемы, **вычленение ряда задач (моделирование проблемы)**, их четкая формулировка зачастую требует больше усилий, чем разрешение каждой конкретной задачи. Самостоятельная постановка задачи учащимися как модели проблемы говорит о том, что они уже приблизились к ее решению и мысленно (возможно, бессознательно) осуществляют **циклы проблема – гипотеза – проверка**.

Модели преобразующей и познавательной деятельности, собственно говоря, совпадают на метапредметном уровне, образуя вектор познавательной и преобразующей деятельности человека (рис. 1).

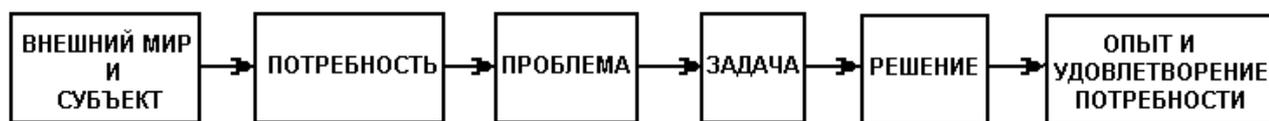


Рис. 1. Вектор познавательной и преобразующей деятельности человека

В качестве заключительной составляющей вектора познавательной и преобразующей деятельности человека выступает удовлетворение конкретной потребности субъекта и опыт, вернее – социальный опыт.

Взаимодействие субъекта с внешним миром приводит к возникновению потребности преобразования с соответствующей ситуацией преобразования. Взаимодействие субъекта с внешним миром приводит также к возникновению познавательной потребности с соответствующей познавательной ситуацией.

Конкретная потребность формирует соответствующий вектор познавательной или преобразующей деятельности человека (рис. 2, 3). При обучении необходимо ставить учащегося в разные места этого вектора в зависимости от уровня подготовки. Цифрами 1–5 обозначены уровни входа в процесс обучения (рис. 2, 3). Например, точка входа 3 (рис. 2) означает, что создана проблемная ситуация, а учащемуся необходимо сформулировать задачу, решить ее, обобщить и включить в банк решенных задач.

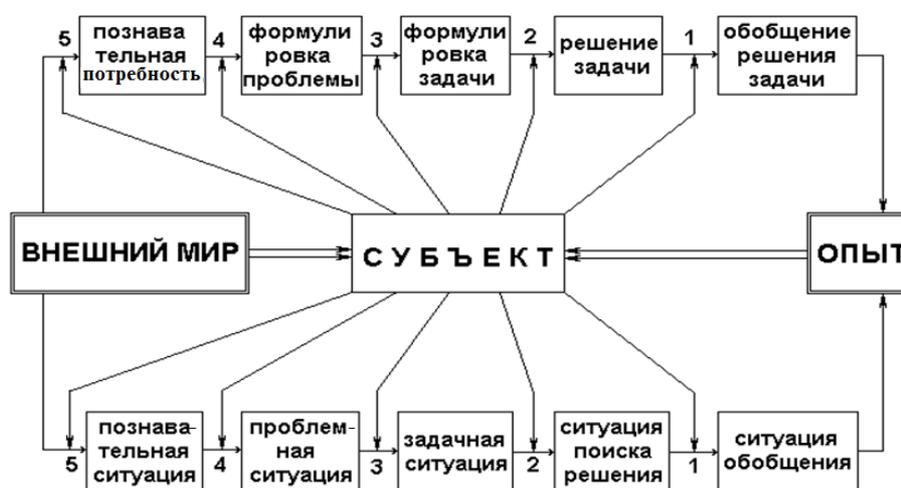


Рис. 2. Модель деятельности в процессе познания



Рис. 3. Модель деятельности в процессе преобразования

Составляющие внешнего мира – естественно-технические элементы, с которыми субъект сталкивается и взаимодействует в жизни, а также действия и взаимодействия человека с элементами внешнего мира – это **пользование** (и как опыт – природопользование), **преобразование, создание, воспроизведение** (и как опыт – производство и воспроизводство), которые фиксируясь и сохраняясь в качестве социального опыта, образуют материальные ценности, **науки и технологии – составляющие культуры человека**. Не вдаваясь в анализ различных трактовок, определим технологию на основе идеи,

предложенной в работе [5]. **Технология** – это система условий, форм, методов и средств удовлетворения потребностей человека в преобразовании себя и окружающей действительности.

Преобразование, создание, воспроизведение, пользование, возникающие как потребности всегда ситуативны [6]. Очевидно, что решение современных проблем возможно только на основе синтеза знаний из различных научных областей, что воплощается в такой форме реализации технологий, как проекты. Поэтому технологические знания, отличительной особенностью которых является «проектность», исключительно важны для решения проблем преобразовательной практической деятельности человека.

### **Библиография**

1. Петросян В.Г., Насипов А.Ж., Гагиева Э.Л. Проблемное обучение и решение задач. Нальчик: Полиграфсервис и Т, 2013. 128 с.
2. Питт Дж. Научные и технологические знания – что между ними общего и в чем различия; их значение для технологического образования // Материалы VII Международной конференции по технологическому образованию. М., 2001. С. 5–11.
3. Махмутов М.И. Организация проблемного обучения в школе. М.: Педагогика, 1977. 240 с.
4. Андреев В.И. Диалектика воспитания и самовоспитания творческой личности: основы педагогики творчества. Казань, 1988. 236 с.
5. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология. М.: СИНТЕГ, 2008. 663 с.
6. Насипов А.Ж., Петросян В.Г. Активные методы обучения в школьном технологическом образовании. Нальчик: Полиграфсервис и Т, 2013. 232 с.

**ТЕСТИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА  
ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ФРАКТАЛОВ**

**Брылкин Ю.В., Кусов А.Л., \*Флоров А.В.**

***ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»***

**\*ALKUS@list.ru**

*Дано описание методики фрактального анализа топологии поверхности. Проведено тестирование методики путём численного расчёта фрактальной размерности некоторых простых фрактальных поверхностей. Получено хорошее соответствие между теоретическим и расчётным значением.*

**Ключевые слова:** фрактал, топология поверхности, анализ свойств покрытия.

**TESTS OF THE ROUGH SURFACE TOPOLOGY MODELING  
ALGORITHM BASED ON THE FRACTAL THEORY**

**Brylkin Yu.V., Kusov A.L., Frolov A.V.**

***Central Research Institute of Machine Building***

*Description of surface topology fractal analysis method was presented. Tests of method were done by fractal dimension calculation of some simple fractal surfaces. Good agreement between theoretical and calculated data was received.*

**Keywords:** fractal, surface topology, film properties analysis.

Математические модели поверхностей металлов, сплавов и нанопокровов необходимы для моделирования таких физических процессов, как рассеяние световых полей, взаимодействие молекул газа с поверхностью, ламинарно-турбулентный переход, исследование трибологических свойств поверхностей и др. Используемые в большинстве случаев модели поверхностей имеют сильные упрощения. В результате построенная для моделирования поверхность не имеет ничего общего с шероховатостью реальных поверхностей. Так, одним из основных методов моделирования поверхностей является построение синусоидальных поверхностей, когда дуга синусоиды переносится параллельно самой себе на определённую длину, в результате чего получается некоторая «гофрированная» поверхность. Реже встречаются модели, представляющие собой совокупность простейших геометрических элементов или набор плоских площадок с определённым углом наклона к нормали горизонтальной плоскости [1]. Подобные методы задания поверхности не учитывают мелкомасштабную шероховатость, которая может существенно влиять на свойства поверхности, а в некоторых случаях определять эти свойства. Более адекватной для моделирования шероховатости поверхности является фрактальная модель, учитывающая микрошероховатость [2]. Во фрактальной модели шероховатости задаются минимальный и максимальный масштабы размера. При этом максимальный масштаб ограничен размером исследуемой поверхности, а минимальный связан с размером элементарных треугольников, используемых при триангуляции поверхности. Фрактальная в строгом математическом смысле поверхность не имеет характерного масштаба [1].

В большинстве работ, касающихся фрактального анализа топологии поверхности, приводятся результаты вычисления некоторой фрактальной размерности. Фрактальная размерность вычисляется, как правило, упрощённо для сечений плоскостью исследуемой поверхности, при этом определяется фрактальная размерность полученного профиля. Реже встречается определение фрактальной размерности, основанной на соотношении длины периметра и площади объектов, получающихся в результате пересечения поверхности  $z=z(x,y)$  с плоскостью  $z=const$ . Данные методики являются косвенными, напрямую для двумерных объектов фрактальную размерность практически не вычисляют. Например, можно рассчитывать фрактальную размерность на основе определения кубической размерности. Скучность подобного рода расчётов понятна, она связана со сложностью создания алгоритма прямого вычисления фрак-

тальной размерности, а также сложностью тестирования созданной программы расчёта фрактальной размерности. В данной работе приведены два алгоритма вычисления фрактальной размерности, а также предложены простые фрактальные поверхности, пригодные для тестирования указанных алгоритмов.

Число элементов  $N$  размера  $b$  строго фрактальной в математическом смысле поверхности имеет степенную зависимость от  $b$  [2, 3]

$$N = (b/b_0)^{-D}, \quad (1)$$

где  $D$  – фрактальная размерность (размерность Хаусдорфа-Безиковича),  $b_0$  – размер, при котором  $N=1$ . Для плоской поверхности  $D=2$ , для сильно изогнутой поверхности  $D \rightarrow 3$ .

Площадь поверхности  $S \sim Nb^2$  и определяется выражением [0]

$$S/S_0 = (b/b_0)^{-D+2}, \quad (2)$$

где  $S_0$  – площадь при максимальном размере  $b_0$ . Из (2) следует, что при  $D > 2$  при уменьшении размера  $b$  площадь  $S$  стремится к бесконечности, что является одним из отличительных свойств фракталов.

Для определения фрактальной размерности используется большое количество разнообразных алгоритмов. Перечислим наиболее популярные из них, предполагая, что поверхность задана зависимостью  $z=z(x,y)$  для набора дискретных точек на плоскости  $(x,y)$ . При определении кубической размерности [3], поверхность помещают в кубик с размером  $b_0$ . На первом этапе кубик один и  $N(b_0)=1$ . Разобьём исходный кубик на 8 кубиков со стороной в 2 раза меньше исходного  $b=b_0/2$  и посчитаем какое количество кубиков  $N(b)$  будет пересекать поверхность. Продолжим разбиение, рассчитывая число кубиков  $N$ , которые пересекает поверхность. Для истинного фрактала должна получиться степенная зависимость (1). Непосредственное вычисление кубической размерности является довольно сложной геометрической задачей.

Метод с вычислением средней площади формулируется следующим образом. Возьмём квадрат  $b_0 \times b_0$ , который полностью охватывает проекцию поверхности на плоскость  $(x,y)$ . По точкам исходной поверхности  $z=z(x,y)$  с помощью метода наименьших квадратов строится средняя плоская поверхность  $z_f(x,y)$  с площадью  $S_0$ . Исходный квадрат  $b_0 \times b_0$  разбивается на 4 квадрата со стороной  $b=b_0/2$ , и также методом наименьших квадратов для каждого отдельного квадрата строятся средние плоские поверхности  $z_f(x,y)$ . После сложения четырёх полученных методом наименьших квадратов площадей получается площадь поверхности  $S$  при характерном размере  $b$ . При дальнейшем уменьшении  $b$  для поверхности, имеющей строго фрактальную топологическую структуру, должно иметь место (2).

Другие косвенные методы основаны либо на вычислении показателя Херста  $H$  или фрактальной размерности проекции поверхности вдоль прямой линии, либо на определении фрактальной размерности «береговой линии», полученной при пересечении поверхности  $z(x,y)$  с плоскостью  $z=const$ . В теории фракталов предполагается, что  $D+H=D_T+1$ , где  $D_T$  – топологическая размерность исследуемого объекта ( $D_T=2$  для поверхностей,  $D_T=1$  для линий) [3]. Показатель Херста позволяет сравнивать фрактальные объекты разной топологической размерности  $D_T$ . Значения  $H=0.7 - 0.9$  характерны для многих физических явлений [2, 3].

Фрактальную размерность можно вычислить из зависимости площади полученных при определении береговой линии островов от их периметра. Фрактальная размерность проекции фрактала  $D'$  и размерность самого фрактала  $D$  связаны соотношением [2]

$$D' = D - 1. \quad (3)$$

Тестирование алгоритма определения фрактальной поверхности проводилось на следующих поверхностях: случайная броуновская поверхность, поверхность, полученная из кривой Коха, лестница, плоскость (рис. 1). Случайная броуновская поверхность построена по алгоритму Фосса [3], поверхность, полученная из кривой Коха, является результатом параллельного переноса указанной кривой.

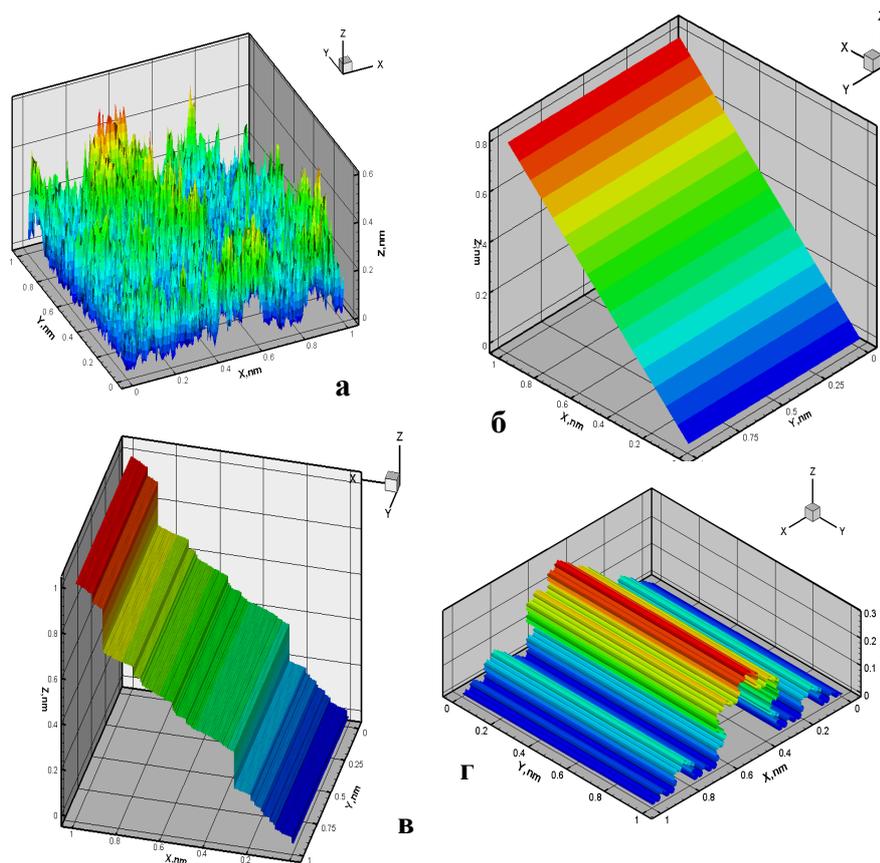


Рис. 1. Тестовые поверхности, для которых определялись фрактальные размерности:  
 а – броуновская случайная поверхность, б – плоскость, в – лестница,  
 г – поверхность, полученная переносом кривой Коха

Результаты определения фрактальной размерности тестовых поверхностей представлены на рис. 2 и в таблице. Фрактальные размерности, полученные с помощью разных методик, несколько отличаются между собой. Наилучшие результаты даёт вычисление кубической размерности. Заметим, что методики, основанные на вычислении одномерных профилей вдоль поверхности, могут приводить к совершенно неправильным результатам. Так, для поверхности, полученной из кривой Коха и лестницы, результат построения профиля существенно зависит от ориентации выбора профиля относительно поверхности.

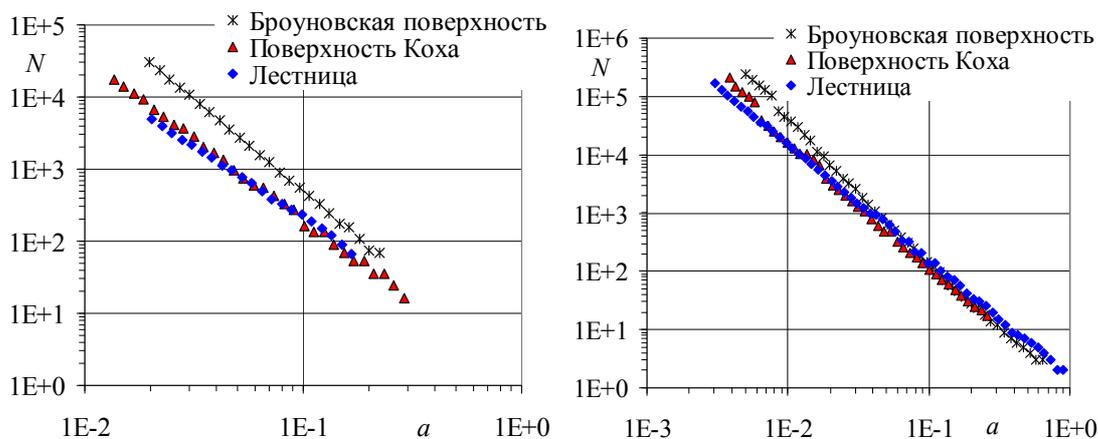


Рис. 2. К определению фрактальной размерности:  
 определение кубической размерности (слева),  
 метод вычисления средней площади (справа)

Результаты определения фрактальной размерности

Фрактал	Теоретическая размерность	Кубическая размерность	Размерность по средней площади
Поверхность, полученная из кривой Коха	2.2618	2.258	2.198
Лестница	2	1.974	1.984
Плоскость	2	1.955	1.998
Броуновская поверхность	2.5	2.489	2.539

В результате исследования:

- Предложена методика определения фрактальной размерности, основанная на вычислении средних площадей.
- Проведена верификация используемых методик определения фрактальной размерности поверхности на основе вычисления фрактальной размерности простых фрактальных поверхностей.
- Проведено сравнение методик вычисления фрактальной размерности, показано, что наилучшей является методика вычисления кубической размерности.
- Показано, что методики, основанные на анализе одномерных профилей, построенных вдоль поверхности, а также метод периметр–площадь могут давать некорректные результаты для ориентированных поверхностей.

#### Библиография

1. Герасимова О.Е., Борисов С.Ф., Проценко С.П. Моделирование шероховатой поверхности // Мат. моделирование. 2004. Т. 16, № 6. С. 40–43.
2. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Институт компьютерных исследований, 2002. 656 с.

**МЕТОДОЛОГИЯ ПРОСПЕКТИВНОГО СРАВНИТЕЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ  
РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ ОТКРЫТОЙ И РОБОТИЧЕСКОЙ  
НЕВРОСБЕРЕГАЮЩЕЙ РАДИКАЛЬНОЙ ПРОСТАТЭКТОМИИ**

**\* Колонтарев К.Б.<sup>1,2</sup>, Пушкарь Д.Ю.<sup>1,2</sup>, Казаков А.С.<sup>1,2</sup>**

**<sup>1</sup>ГБОУ ВПО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России**

**<sup>2</sup>Институт конструкторско-технологической информатики РАН**

**\* [kb80@yandex.ru](mailto:kb80@yandex.ru)**

*Данная работа является первым в России проспективным сравнительным исследованием результатов выполнения ОРП и РРП. Получены результаты высокого уровня достоверности со сроком наблюдения в 12 месяцев после оперативного лечения.*

**Ключевые слова:** рак простаты, позадилоновая радикальная простатэктомия, роботхирургия.

**METHODOLOGY FOR PROSPECTIVE COMPARATIVE RESULTS OF TRIAL  
AND RESEARCHING OPEN AND ROBOTIC NERVE SPARING RADICAL PROSTATECTOMY**

**Kolontarev K.B.<sup>1,2</sup>, Pushkar D.Yu.<sup>1,2</sup>, Kazakov A.S.<sup>1,2</sup>**

**<sup>1</sup>Medical University of A. Evdokimov Russian Ministry of Health**

**<sup>2</sup>Institute of Design-Technological Informatics of RAS**

*This work is the first in Russia to a prospective comparative study of the results perform RRP and RRS. The results obtained with the high level of reliability for a period of observation, 12 months after surgery.*

**Keywords:** prostate cancer, retropubic radical prostatectomy, da Vinci prostatectomy.

**Введение.** Рак предстательной железы (РПЖ) является одним из наиболее часто встречающихся онкологических заболеваний среди мужчин [1, 2]. В общемировой структуре онкологической заболеваемости рак простаты занимает шестое место, а среди мужчин – третье. В развитых странах доля РПЖ в структуре онкологической заболеваемости составляет одну шестую, в развивающихся – менее одной двадцатой [3].

В настоящее время отмечена тенденция к «омоложению» рака простаты. Благодаря открытию простат-специфического антигена (ПСА) и повсеместному введению скрининговых программ, РПЖ диагностируется на ранних стадиях у мужчин более молодого возраста. Все это привело к широкому применению методов лечения локализованных форм РПЖ, особенно радикальной простатэктомии (РП). Позадилонная радикальная простатэктомия из открытого доступа (ОРП), предложенная T Millin в 1945 г. и модифицированная P Walshetal в 1980 году, на протяжении длительного времени являлась «золотым стандартом» лечения клинически локализованных форм РПЖ.

За последние десятилетия благодаря прогрессивному развитию минимально-инвазивных технологий в медицине взгляды урологов изменились в пользу применения робот-ассистированной техники выполнения РП. Несмотря на это в доступной литературе ощущается острый дефицит сравнительных исследований по изучению различных методик выполнения радикальной простатэктомии. Данный факт можно объяснить сложностью выполнения подобных работ, что привело к принятию решения о выборе той или иной техники РП в каждом конкретном случае на основе результатов имеющихся ретроспективных и нескольких проспективных исследований на незначительном количестве пациентов.

С момента первого выполнения робот-ассистированной радикальной простатэктомии (РРП) в Германии и США в 2000 году, доля применения роботической технологии к 2006 г. возросла с 9 % до 43 %. По данным изготовителя роботической хирургической системы daVinci (Intuitive Surgical, Synnyvale, CA), в настоящее время около 90 % всех радикальных простатэктомий в США выполняются роботически. Данное изменение в предпочтениях хирургов произошло несмотря на отсутствие достаточной доказательной базы высокой степени достоверности, демонстрирующей преимущества РРП над ОРП в показателях эффективности и безопасности.

К настоящему времени в доступной литературе имеются публикации, посвященные сравнению тех или иных методик выполнения радикальной простатэктомии, однако большинство из них носит ретро-

спективный характер. Более достоверные данные можно получить при изучении результатов нескольких систематических обзоров и мета-анализов показателей эффективности выполнения открытой и роботической РП. При этом результаты весьма противоречивые, что еще более явно указывает на острый дефицит проспективных исследований.

Учитывая все вышесказанное, в 2011 году на кафедре урологии МГМСУ было начато первое в России проспективное сравнительное исследование, сравнивающее открытую и роботическую радикальную простатэктомию.

**Материалы и методы.** Исследование проводилось на кафедре урологии МГМСУ с ноября 2011 г. по май 2013 г. Период включения пациентов в исследование – ноябрь 2011 года – май 2012 года.

В исследовании участвовали 318 пациентов мужского пола с верифицированным раком предстательной железы (клинически локализованной стадии T1-T2N0M0 согласно классификации TNM 2009 г.), поступившие в клинику урологии МГМСУ для выполнения радикальной простатэктомии. Было выполнено 155 случаев РПП, и 163 пациента перенесли открытую радикальную простатэктомию. Средний возраст пациентов 55,5 лет (47-75). Критериями исключения из исследования являлись наличие лучевой и/или гормональной терапии, а также трансуретральной резекции простаты в анамнезе. Также мы исключали из исследования пациентов с индексом массы тела (ИМТ) > 30.

**Результаты.** Две группы были сравнимы в отношении демографических показателей (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика групп

Группа	РПП	ОРП	p
Возраст (года)			
Среднее значение	63.9 (6.7)	64.7 (5.9)	>0.05
ИМТ			
Среднее значение	26.4 (2.6)	26.7 (2.8)	>0.05
ПСА (нг/мл)			
Среднее значение	6.8 (4.1)	8.0 (6.2)	>0.05
Шкала Глисона, п. (%)			
6	69 (44.5)	63 (38.7)	>0.05
7	78 (50.3)	87 (53.3)	<0.05
8–10	8 (5.2)	13 (8)	<0.05
Объем простаты на ТРУЗИ (мл)			
Среднее значение	36.4 (12.8)	38.9 (15.2)	>0.05
Значение IIEF			
Медиана	24.6	25.4	>0.05

РПП – роботическая радикальная простатэктомия; ОРП – открытая радикальная простатэктомия; СО – стандартные отклонения; ИМТ – индекс массы тела; ПСА – простат-специфический антиген; ТРУЗИ – трансректальное ультразвуковое исследование; IIEF – International Index of Erectile Function.

Данные интра- и постоперационных показателей представлены в табл. 2.

Таблица 2

Интраоперационные и постоперационные показатели

	РПП	ОРП	p
Среднее время операции (мин)	162	115	< 0.05
Средняя величина кровопотери (мл)	168	460	< 0.05
Гемотрансфузия (%)	6	14	< 0.05
Интраоперационные осложнения (%)	0	0	-
Среднее время лимфаденэктомии (мин)	38	36	> 0.05
Среднее время госпитализации (дни)	6	12	< 0.05
Среднее время дренирования мочевого пузыря (дни)	7	12	< 0.05

РПП – роботическая радикальная простатэктомия; ОРП – открытая радикальная простатэктомия

Тазовая лимфаденэктомия была выполнена в 53 случаях в обеих группах. В ходе нашего исследования не было отмечено каких-либо интраоперационных осложнений. Время оперативного вмешательства было меньше в группе ОРП, тогда как степень кровопотери, а также необходимость в проведении гемотрансфузии была достоверно ниже в группе РПП. Длительность госпитализации и дренирования мочевого пузыря была существенно ниже в группе пациентов, перенесших роботическую операцию. Патоморфологические данные представлены в табл. 3.

Таблица 3

Патоморфологические показатели

	РРП	ОРП	р
Средний объем простаты (мл)	45.4	44.4	> 0.05
Средний объем опухоли (мл)	2.5	2.9	> 0.05
Стадия, n (%)			> 0.05
рТ2	89 (57.4)	94 (57.7)	
рТ3	66 (42.6)	69(42,3)	
Глисон, n (%)			> 0.05
6	54 (34.8)	52 (31.9)	> 0.05
7	93 (60)	98 (60.1)	> 0.05
8	8 (5.2)	13 (8)	> 0.05
ПХК, n (%)	27(17.4)	32(19.6)	> 0.05

РРП – роботическая радикальная простатэктомия; ОРП – открытая радикальная простатэктомия; ПХК – положительный хирургический край.

Частота встречаемости положительного хирургического края статистически достоверно не отличалась в обеих группах.

Функциональные результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

Функциональные результаты

	РРП	ОРП	р
Инконтиненция, n %			
3 месяца наблюдения	129 из 155 (83,2 %)	118 из 163 (72,4 %)	< 0.05
12 месяцев наблюдения	141 из 155 (91 %)	139 из 163 (85,3 %)	> 0.05
Эректильная функция, n %			
12 месяцев наблюдения	68 из 155 (43,8 %)	44 из 163 (27 %)	< 0.05

РРП – роботическая радикальная простатэктомия; ОРП – открытая радикальная простатэктомия;

**Заключение.** Данная работа является первым в России проспективным сравнительным исследованием результатов выполнения открытой и роботической радикальной простатэктомий. Несмотря на существующие ограничения, впервые получены результаты высокого уровня достоверности со сроком наблюдения в 12 месяцев после оперативного лечения.

Однако требуются дальнейшие рандомизированные исследования с большим сроком наблюдения для обоснования применения роботической радикальной простатэктомии в качестве нового «золотого стандарта» лечения локализованного рака предстательной железы.

**Библиография**

1. Jemal A., Siegel R., Xu J., and Ward E. Cancer Statistics, 2010 // CA Cancer J. Clin. 60(5). 277–300.
2. National Cancer Institute (2008). SEER Cancer Statistics Review. 1975–2005. National Cancer Institute. Bethesda, MD [www document] [seer.cancer.gov](http://seer.cancer.gov).
3. Hsing A.W., Chokkalingam A.P. Prostate cancer epidemiology // Front Biosci. 2006. V. 11. P. 1388–1413.

## АНАЛИЗ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТ-АССИСТИРОВАННОЙ РАДИКАЛЬНОЙ ПРОСТАТЭКТОМИИ

\*Колонтарев К.Б.<sup>1,2</sup>, Раснер П.И.<sup>1,2</sup>, Говоров А.В.<sup>1,2</sup>, Пушкарь Д.Ю.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ГБОУ ВПО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России

<sup>2</sup>Институт конструкторско-технологической информатики РАН

\*kb80@yandex.ru

*В статье отражен опыт выполнения первых 500 случаев роботической радикальной простатэктомии на кафедре урологии МГМСУ.*

**Ключевые слова:** рак простаты, простатэктомия, роботхирургия.

## ANALYSIS OF PRACTICAL APPLICATION OF DA VINCI RADICAL PROSTATECTOMY

Kolontarev K.B.<sup>1,2</sup>, Rasner P.I.<sup>1,2</sup>, Govorov A.V.<sup>1,2</sup>, Pushkar D.Yu.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Medical University of A. Evdokimov Russian Ministry of Health

<sup>2</sup>Institute of Design-Technological Informatics of RAS

*In this article we present our first 500 cases of da Vinci prostatectomy with good results.*

**Keywords:** prostate cancer, da Vinci prostatectomy, robotic surgery.

**Введение.** Позадилонная радикальная простатэктомия является методом, позволяющим избавить пациента от локализованной карциномы предстательной железы. По данным проведенных многочисленных исследований доказано снижение болезнь-специфической смертности при выполнении данной операции [1–5]. На сегодняшний день во многих странах мира освоена робот-ассистированная радикальная простатэктомия (РПП). Многочисленные работы по изучению и анализу новой техники выполнения РПП позволяют выделить преимущества роботической хирургии с точки зрения доказательной медицины. Нами были проанализированы результаты собственной серии выполнения РПП у больных раком предстательной железы (РПЖ).

Мы провели ретроспективный анализ первых пятисот случаев выполнения радикальной простатэктомии с роботической ассистенцией в клинике урологии Московского государственного медико-стоматологического университета на базе ГКБ № 50 в период с 2009 по 2013 гг., при помощи хирургической роботической системы da Vinci S. Хирургическая система da Vinci S состоит из трех компонентов: консоль хирурга (рис. 1), тележка пациента (рис. 2) и стойка оборудования (рис. 3).



Рис. 1. Консоль хирурга



Рис. 2. Тележка пациента



Рис. 3. Стойка оборудования

Консоль хирурга является панелью управления всей системы и местом работы оператора, осуществляющего управление тремя инструментами-манипуляторами и камерой тележки пациента при помощи двух джойстиков и ножных педалей. Движения рук хирурга полностью копируются джойстиком и передаются на манипуляторы, нивелируя тремор и обеспечивая возможность прецизионной диссекции (рис. 4).



Рис. 4. Джойстики



Рис. 5. Ножные педали

Ножные педали обеспечивают активацию процесса коагуляции (система оснащена как монополярным, так и биполярным типом коагуляции), переключение между рабочими манипуляторами и камерой, а также фокусировку оптической системы (рис. 5). Все операции нашей серии были выполнены одним хирургом, обладающим богатым опытом выполнения открытых вмешательств. Опытом выполнения радикальной простатэктомии из лапароскопического доступа специалист не обладал. В настоящее время коллектив кафедры урологии МГМСУ обладает опытом выполнения более 700 РПП. Выполненный анализ первых 500 пациентов включал в себя данные случаев, выполненных в период обучения, что, несомненно, изменяет общую картину результатов и является ограничением нашего исследования. Средний возраст наших пациентов составил 66 (48–78) лет; средний уровень общего ПСА крови 6,2 (2,8–18,3) нг/мл; средний объем предстательной железы, по данным выполненного трансректального ультразвукового исследования (ТРУЗИ), составил 48 (23–122) см<sup>3</sup>. Средний показатель индекса массы тела (ИМТ) – 26,4 (23,8–37,9). Интересным фактом является то, что у 97 пациентов (19,4%) ИМТ был более 30. Эта большая группа пациентов легла в основу инициированного и проводимого в настоящее время исследования по оценке результатов выполнения РПП у пациентов с избыточным весом. Нами были проанализированы следующие показатели: время операции, степень кровопотери, конверсия оперативного вмешательства, уровень интра- и постоперационных осложнений, а также онкологический и функциональный результаты.

В нашей серии у 367 (73,4 %) операция была выполнена по нервосберегающей методике. Средняя длительность госпитализации составила 8 (3–21) дней, средний срок удаления уретрального катетера – 7-е (6–21) сутки после операции. Среднее время оперативного вмешательства в нашем исследовании составило 167 (97–295) минут. Средняя степень кровопотери 180 (35–1950) мл. За время проведения данной работы переход к открытой операции (конверсия) потребовался в 5 (1 %) случаях. Все конверсии были выполнены на начальном этапе нашей серии, в числе первых операций при наличии минимального опыта, когда технические сложности в ходе операции обусловлены большим объемом предстательной железы и интраоперационным кровотечением. Гемотрансфузионная терапия потребовалась 12 (2,4 %) пациентам во время операции и/или в ближайшем послеоперационном периоде. В одном случае в ходе операции при выделении предстательной железы был поврежден мочевой пузырь, что потребовало наложение двурядного шва на дефект стенки. Иных интраоперационных осложнений, а также осложнений, обусловленных продолжительностью наркоза и длительным нахождением пациента в положении Тренделенбурга нами отмечено не было.

**Заключение.** Живя в эпоху высоких технологий, несложно предположить, что спустя некоторое время у нас появятся все более прогрессивные и улучшенные модели роботизированных систем, что может привести к тотальной «роботизации» некоторых видов оперативных вмешательств, в том числе радикальной простатэктомии. Уже сейчас становится ясно, что в настоящее время урология и роботизированные хирургические системы идут в ногу. Уже сейчас доступны данные о большей эффективности некоторых робот-ассистированных манипуляций над традиционными, что не может быть проигнорировано в эру доказательной медицины. Все это приведет к появлению все большего числа «роботических» хирургов, что сделает необходимым формирование четкого алгоритма обучения специалистов. Мы считаем, что приведенные нами хирургические приемы могут быть полезными для начинающих «роботических» хирургов и позволят специалистам избежать целого ряда возможных ошибок в ходе операции.

### **Библиография**

1. Meyer E.K., Winkler M.H., Aggarwal R., et al. Robotic prostatectomy: the first UK experience // *Int. J. Med. Robot.* 2006. V. 2(4). P. 321–328.
2. Patel V.R., Tully A.S., Holmes R., et al. Robotic radical prostatectomy in the community setting – the learning curve and beyond: initial 200 cases // *J. Urol.* 2005. V. 174. P. 269–272.
3. Wolfram M., Brautigam R., Engl T., et al. Robotic-assisted laparoscopic radical prostatectomy: the Frankfurt technique // *World. J. Urol.* 2003. V. 21. P. 128–132.
4. Ficarra V., Cavalieri S., Novara G., et al. Evidence from robotassisted laparoscopic radical prostatectomy: a systematic review // *Eur. Urol.* 2007. V. 51. P. 45–56.
5. Farnham S.B., Webster T.M., Herrel S.D., et al. Intraoperative blood loss and transfusion requirements for robotic-assisted radical prostatectomy versus radical retropubic prostatectomy // *Urology.* 2006. V. 67. P. 360–363.

**О ВЫБОРЕ ЗАКОНА ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА  
ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ В ТОНКОСТЕННЫХ ЦИЛИНДРАХ**

**Ошхунув М.М., \*Джанкулаева М.А., Бечелова А.Р., Темботова М.М.**

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова*

\*[madina.dzhan@gmail.com](mailto:madina.dzhan@gmail.com)

*В статье предлагается способ выбора коэффициента температурного расширения по своду цилиндра, при котором кольцевые напряжения при нагревании почти постоянны, что обеспечивает большую работоспособность таких элементов конструкций, приведены численные эксперименты по определению напряжения методом конечных элементов.*

**Ключевые слова:** теплоемкость, теплопередача, теплопроводность, термостойкость, метод конечных элементов, деформации.

**THE CHOICE OF LAW CHANGES OF LINEAR EXPANSION  
COEFFICIENTS IN THE WALLED CYLINDERS**

**Oshkhunov M.M., Dzhankulaeva M.A., Bechelova A.R., Tembotova M.M.**

*Kabardino-Balkarian State University*

*The article suggests a method of selecting the coefficient of thermal expansion of the cylinder on the vault in which the hoop stress when heated almost constant, resulting in greater efficiency of such structural elements, shows the numerical experiments to determine the stress by finite element method.*

**Keywords:** heat capacity, heat transfer, thermal conductivity, thermal stability, finite element method, deformations.

Как известно, полые трубы при температурных нагреваниях испытывают тепловые напряжения, которые могут привести к разрушению цилиндрических конструкций [1, 2]. Например, при внутреннем нагреве полого цилиндра (рис. 1) возникают напряжения, связанные с большим расширением колец, близких к радиусу  $r = a$  (внутренние кольца давят на соседние, которые имеют меньшую температуру). Сказанное относится к цилиндрам с постоянным коэффициентом расширения. Если подобрать во внутренней части цилиндра материалы (полимеры) с меньшим коэффициентом теплового расширения, чем в наружной области  $r = b$ , то указанное выше давление «внутренних колец» ослабнет, и свод цилиндра будет напряжён почти равномерно. Это, естественно, продлит работоспособность, например, кабельного покрытия, подверженного тепловому воздействию от сердечника, по которому идет электрический ток.

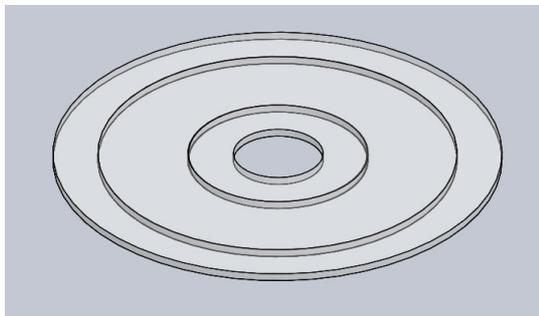


Рис. 1. Вид твердого тела

Заметим, что наиболее значительными, а следовательно, более опасными (как и в случае действия внутреннего давления) являются кольцевые напряжения  $\sigma_{\theta\theta}$ , которые могут вызвать разрушение цилиндра (осевые напряжения имеют для бесконечного цилиндра такой же порядок, что и кольцевые, однако для конечного цилиндра более существенными будут компоненты  $\sigma_{\theta\theta}$ ) [1].

Известно [3, 4], что кольцевые напряжения  $\sigma_{\theta\theta}$ , возникающие под действием температурного поля  $T = T(r)$ ,  $a \leq r \leq b$ , имеют вид:

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{E}{r^2} \left[ \frac{r^2 + a^2}{b^2 - a^2} \int_a^b \alpha T dr + \int_a^r \alpha T dr - \alpha T r^2 \right]. \quad (1)$$

Здесь  $E$  – модуль Юнга,  $\alpha$  – коэффициент теплового расширения. Вопрос состоит в том, чтобы выбрать такой закон изменения  $\alpha(r)$  при заданной функции  $T(r)$ , чтобы  $\frac{d\sigma_{\theta\theta}}{dr} = 0$ .

Если провести операции дифференцирования по формуле (1), то задача, очевидно, сведется к решению интегро-дифференциального уравнения относительно функции  $\alpha = \alpha(r)$ .

Такой путь является достаточно сложным, и в связи с этим предлагается простой способ выбора зависимости  $\alpha = \alpha(r)$  при известном законе  $T = T(r)$ , который обеспечивает почти равномерное распределение  $\sigma_{\theta\theta} = \sigma_{\theta\theta}(r)$ .

Потребуем, чтобы изменения функций  $\sigma_{\theta\theta}(r)$  в области  $a \leq r \leq b$  подчинялись условию

$$|\sigma_{\theta\theta}(b) - \sigma_{\theta\theta}(a)| \rightarrow \min, \quad (2)$$

т.е. будем минимизировать колебания кольцевых напряжений в точках  $r = a$ ,  $r = b$ . Заметим, что можно также потребовать, чтобы эти изменения были минимальными в трех точках:  $r = a$ ,  $r = (a + b)/2$ ,  $r = b$ , т.е.

$$\left| \sigma_{\theta\theta} \left( \frac{a+b}{2} \right) - \sigma_{\theta\theta}(a) \right| + \left| \sigma_{\theta\theta}(b) - \sigma_{\theta\theta} \left( \frac{a+b}{2} \right) \right| \rightarrow \min \text{ и т.д.}$$

Если удастся подобрать такой закон изменения  $\alpha = \alpha(r)$ , то колебания кольцевых напряжений по своду будут небольшими, и такая полимерная цилиндрическая оболочка будет более работоспособной и долговечной, чем аналогичная с однородными свойствами (рис. 2).

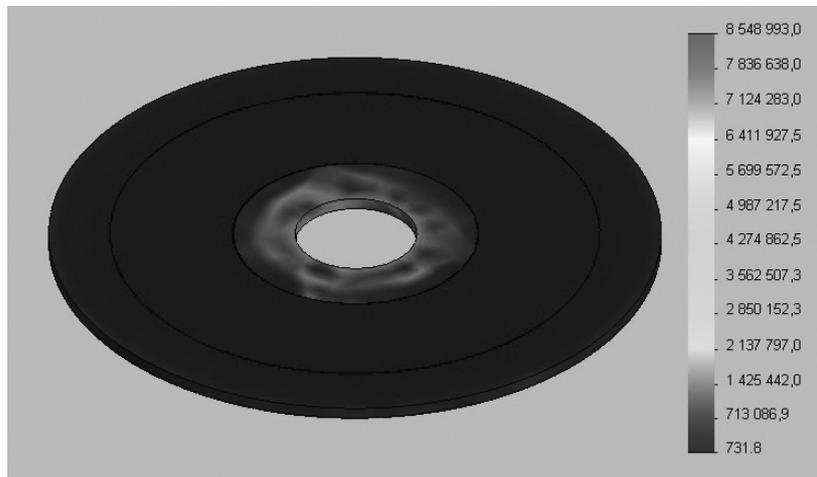


Рис. 2. Распределение кольцевых напряжений, вызванных внезапным нагреванием внутреннего слоя

Подставляя в формулу (1) значения  $r = a$ ,  $r = b$  по критерию (2), получим:

$$\begin{aligned} |\sigma_{\theta\theta}(b) - \sigma_{\theta\theta}(a)| = & \left| \left( \frac{E(a^2 + b^2)}{b^2(b^2 - a^2)} - \frac{E(a^2 + a^2)}{a^2(b^2 - a^2)} \right) \int_a^b \alpha T dr + \right. \\ & \left. + \frac{E}{b^2} \int_a^b \alpha T dr + \alpha(a)T(a)a^2 - \alpha(b)T(b)b^2 \right| \rightarrow \min. \end{aligned}$$

Проведя вычисления, можно показать, что

$$|\sigma_{\theta\theta}(b) - \sigma_{\theta\theta}(a)| = |\alpha(a)T(a)a^2 - \alpha(b)T(b)b^2| \rightarrow \min.$$

Потребуем, чтобы

$$\frac{\alpha(a)}{\alpha(b)} = \frac{b^2 T(b)}{a^2 T(a)}. \quad (3)$$

Тогда  $|\sigma_{\theta\theta}(b) - \sigma_{\theta\theta}(a)| = 0$ , т.е. кольцевые напряжения в точках  $r = a$ ,  $r = b$  становятся одинаковыми.

Из формулы (3) следует, что в случае внутреннего нагревания ( $T(a) = T_0$ ,  $T(b) \approx 0$ ) коэффициент линейного расширения в окрестности  $r = a$  должен быть небольшим, возрастая при  $r \rightarrow b$ . В случае внешнего нагрева ( $T(a) \approx 0$ ,  $T(b) = T_0$ ), наоборот, коэффициент теплового расширения должен быть почти нулевым при  $r = b$  и расти при  $r \rightarrow a$ . Наконец, в случае тонких покрытий ( $b \approx a$ ) закон изменения  $\alpha(r)$  и  $T(r)$  в точках  $r = a$ ,  $r = b$  связаны обратным соотношением ( $a \approx b$ )

$$\frac{\alpha(a)}{\alpha(b)} = \frac{T(b)}{T(a)}.$$

Таким образом, если подобрать во внутренней части цилиндра материалы (полимеры) с большим коэффициентом теплового расширения, чем в наружной области, то указанное выше давление «внутренних колец» ослабнет, и свод цилиндра будет напряжен почти равномерно. Это, естественно, продлит работоспособность, например, кабельного покрытия, подверженного тепловому воздействию.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 12-07-00624 а, № 13-07-01003 а.*

#### **Библиография**

1. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1975. 574 с.
2. Яхутлов М.М. Модель поля температурных напряжений в шлифовальном круге // Вестник машиностроения. 2001. № 5. С. 46–51.
3. Ошхунов М.М., Нагоев З.В. Математические модели деформируемых сред для интеллектуальных систем виртуального прототипирования. Нальчик: КБНЦ РАН, 2013. 196 с.
4. Боли Б., Уэйнер Дж. Теория температурных напряжений. М.: Мир, 1964. 517 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО ОТПОРА ОСНОВАНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Джанкулаев А.Я.

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова*

[itf@kbsu.ru](mailto:itf@kbsu.ru)

*В статье предложен метод моделирования отпора с учетом различных нелинейных факторов для использования в МКЭ, выведены основные матричные соотношения, позволяющие вести шагово-итерационный расчет.*

**Ключевые слова:** нелинейность, метод конечных элементов, отпор.

## MODELING OF NONLINEAR REBUFF GROUNDS BY FINITE ELEMENT METHODS

Dzhankulaev A.Y.

*Kabardino-Balkarian State University*

*The article suggests modeling method with the resistance of various nonlinear factors for use in the finite element method, we find basic matrix relations that enable you to stepwise-iterative calculation.*

**Keywords:** nonlinear, finite element method, rebuff.

При выводе матрицы жёсткости конечного элемента (КЭ) важным этапом является выбор модели основания с учётом его реальных свойств. Сложные многообразные явления в основаниях фундаментов, происходящие при их эксплуатации, трудно учесть в прочностных и деформационных расчетах. Поэтому используются различные модели основания. В МКЭ наиболее распространенной является линейная модель, которая не учитывает реальные свойства основания, зависящие от многих факторов. В связи с этим коэффициент постели зададим в виде функциональной зависимости

$$C = C(W, t). \quad (1)$$

Здесь  $W = W(x, y)$  – прогибы КЭ,  $t$  – другие возможные факторы (время, влажность, температура). Отпор основания принимаем в виде [1]

$$P_f(x, y) = C(W, t)W(x, y). \quad (2)$$

Форму изгиба КЭ задаем в виде [2]

$$W(x, y) = [S]\{q\}, \quad (3)$$

где  $\{q\}$  – вектор обобщенных узловых перемещений,  $[S]$  – матрица компоненты которого являются функциями, определяющими форму изгиба КЭ. Тогда (1) можно записать в виде

$$C = [N][S]\{q\}. \quad (4)$$

Здесь  $[N]$  – матрица, содержащая функциональные зависимости коэффициента постели от выбранных параметров.

С учетом (3) и (4) перепишем (2)

$$P_f(x, y) = [N][S]\{q\}[S]\{q\}. \quad (5)$$

Потенциальная энергия основания КЭ при этом имеет вид

$$U = k \iint_F P_f(x, y)W(x, y)dF \quad (6)$$

или

$$U = k \iint_F [N][S]\{q\}[S]\{q\}[S]\{q\}dF. \quad (7)$$

Из (7) получаем выражение для матрицы жесткости основания

$$[K]_f = \iint_F [N][S][S]\{q\}[S]dF. \quad (8)$$

Элементы матрицы  $[K]_f$  определяются с учетом неизвестного вектора обобщенных узловых перемещений, т.е. напрямую их вычислить невозможно. В связи с этим можно использовать шагово-итерационный метод расчета, допустив при начальном шаге равным нулю вектор  $\{q\}$ . При этом матрица  $[N]$  должна соответствовать упругой работе основания. Каждый следующий шаг матрица жесткости основания рассчитывается по итерационной формуле

$$[K]_f^i = \iint_F [N][S][S]\{q\}^{i-1}[S]dF. \quad (9)$$

Матрицу жесткости КЭ на каждом шаге получаем в виде суммы [2]:

$$[K]_b^i = [K] + [K]_f^i, \quad (10)$$

$[K]$  – матрица жесткости КЭ плиты без учета отпора основания. Она определяется по известному интегралу

$$[K] = \iiint_V [B]^T [D][B]dV. \quad (11)$$

Если в расчетах не учитывается физическая или геометрическая нелинейность самого КЭ, то  $[K] = const$ .

Величина  $\{q\}^i$  определяется из основного уравнения МКЭ:

$$[K]_b^i [q]^i = [F] \quad (12)$$

Итерационный процесс расчета строится на уравнениях (9), (10), (12) и довольно быстро сходится.

Предложенный метод позволяет создавать более точные КЭ-модели с учетом различных факторов отпора нелинейного характера. При этом метод не ведет к усложнению вычислительных операций.

### Библиография

1. Джанкулаев А.Я. Учет упругого основания для конечного элемента плиты // Вестник КБГУ. Сер. Технические науки. Вып. III. Нальчик, 1999. С. 10–13.
2. Джанкулаев А.Я., Хасауов Ю.М. Прямоугольный конечный элемент плиты на упругом переменном основании // Наука, техника и технология XXI века (НТТ-2005): материалы второй Всероссийской научно-технической конференции. Ч. II. Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 2005. С. 60–61.

## НЕЧЁТКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ КОРЗИНЫ В СРЕДЕ MATLAB

\*Ланина Т.И.<sup>1</sup>, Волошин Ю.Н.<sup>2</sup>, Аджиева А.Ю.<sup>3</sup>, Дигешев А.Х.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова*

<sup>2</sup>*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова*

<sup>3</sup>*Кубанский государственный аграрный университет*

\*til4949@mail.ru

*В работе рассматриваются прямая и обратная задачи моделирования продовольственного потенциала региона в зависимости от наличия сельскохозяйственных земель методом нечёткого моделирования в среде MATLAB.*

**Ключевые слова:** терм-множество, нечёткая модель, потребительская корзина, сельскохозяйственные земли.

## FUZZY MODEL OF FORECASTING FOOD BASKETS IN THE MATLAB ENVIRONMENT

Lanina T.I.<sup>1</sup>, Voloshin J.N.<sup>2</sup>, Adjieva A.J.<sup>3</sup>, Digeshev A.H.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Kabardino-Balcarian State Agrarian University*

<sup>2</sup>*Kabardino-Balcarian State University*

<sup>3</sup>*Kuban State Agrarian University*

*The paper considers the direct and inverse modeling of the food potential of the region, depending on the availability of agricultural land by Fuzzy Modeling in the environment MATLAB.*

**Keywords:** term of set, fuzzy model, food basket, agricultural lands.

В различных областях науки, техники, производства, социальных вопросах необходимо принимать решения в условиях неполной и нечёткой исходной информации. Для формализованного описания процессов принятия решения используется математический аппарат нечёткой логики – «fuzzy logic», в основе которого лежит теория нечётких множеств. Для описания той или иной системы вместо дифференциальных уравнений используются мнения экспертов, которые выражаются с помощью лингвистических переменных (нечётких исходных данных – нечётких множеств). Для оценки множества допустимых значений лингвистических переменных вводится понятие терма (терм-множества) [1–3].

Для решения задач нечёткого моделирования используется ряд программных пакетов, в том числе и среда MATLAB [4]. В настоящей работе рассматриваются прямая и обратная задачи моделирования потенциала региона в производстве основных продовольственных товаров в зависимости от наличия сельскохозяйственных земель на душу населения. Для реализации процесса нечёткого моделирования в среде MATLAB используется расширение «Fuzzy Logic Toolbox». В рамках данного расширения используется интерактивный режим графических средств редактирования и визуализации всех компонентов систем нечёткого вывода.

Для расчётов использовались данные источника [5] по составу потребительской корзины и площади сельхозугодий на душу населения, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Интервальные значения терм множеств лингвистических переменных

Показатели	Плохой	Средний	Хороший
<b>Площадь с/х угодий на душу населения</b>	[0–0,8]	[0,2–1,8]	[1,2–2]
<b>Продовольственные товары потребительской корзины</b>			
Зерно, кг	[25,9–27,5]	[26,31–29,59]	[28,36–31,64]
Картофель, кг	[34–106]	[79–151]	[124–196]
Овощи, кг	[34–106]	[79–151]	[124–196]
Бахчевые, кг	[45–105]	[82,5–142,5]	[120–180]
Фрукты, кг	[40,58–68,82]	[58,23–86,47]	[75,88–104,1]
<b>Мясо:</b>			
Крупного рогатого скота, кг	[1–5]	[3,5–7,5]	[6–10]
Мелкого рогатого скота, кг	[0,9–1,9]	[0,85–3,65]	[2,6–5,4]
Свинины, кг	[4–16]	[11,5–23,5]	[19–31]
Птицы, кг	[8–32]	[23–47]	[38–62]
Молоко, л	[26–46]	[19–91]	[64–136]
Яйцо, шт	[260–460]	[190–910]	[640–1360]

Входными переменными являются товары потребительской корзины: зерно, картофель, овощи, бахчевые, фрукты, мясо крупного рогатого скота (КРС), мясо мелкого рогатого скота (МРС), свинина, мясо птицы, молоко, яйцо. Выходная переменная – минимальная площадь сельскохозяйственных земель на душу населения для вариативных оценок уровней плохой, средний, хороший.

Для целей анализа используется функция принадлежности, которая указывает степень (или уровень) принадлежности элемента к нечёткому множеству) гауссова типа

$$MF(x) = \exp \left[ - \left( \frac{x - c}{\sigma} \right)^2 \right],$$

где  $c$  – центр нечёткого множества;  $\sigma$  – параметр, определяющий крутизну функции.

Совокупность функций принадлежности для каждого термина из базового терм-множества на примере картофеля представлена на рис. 1.

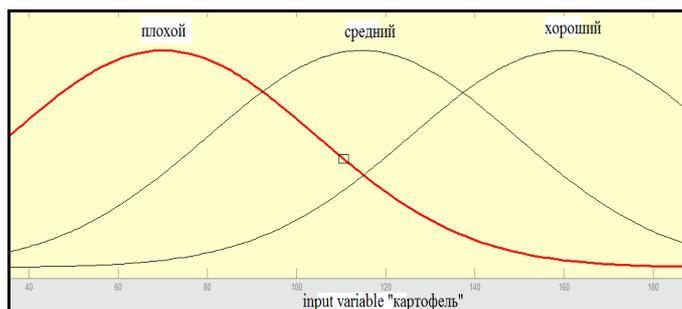


Рис. 1. Совокупность функций принадлежности термина лингвистической переменной – картофель

Механизм логического вывода представленный на рис. 2 включает четыре этапа: введение нечёткости (фазификация), нечёткий вывод, композиция и приведение к чёткости (дефазификация).

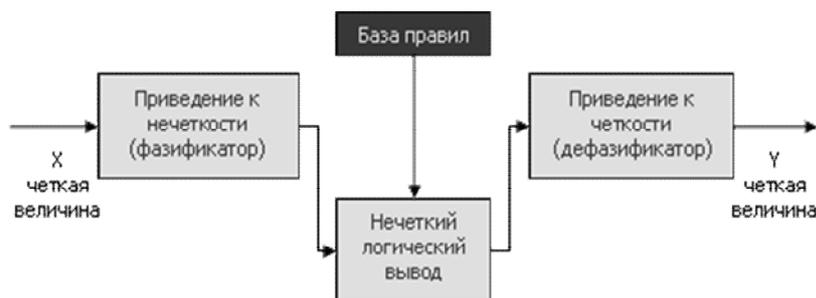


Рис. 2. Система нечёткого логического вывода

В блоке нечёткого логического вывода в данной работе использовался механизм Мамдани [4].

Функции принадлежности входных переменных, а также дефазификационная выходная оценка – площадь, полученные из программного пакета MATLAB представлены на рис. 3.

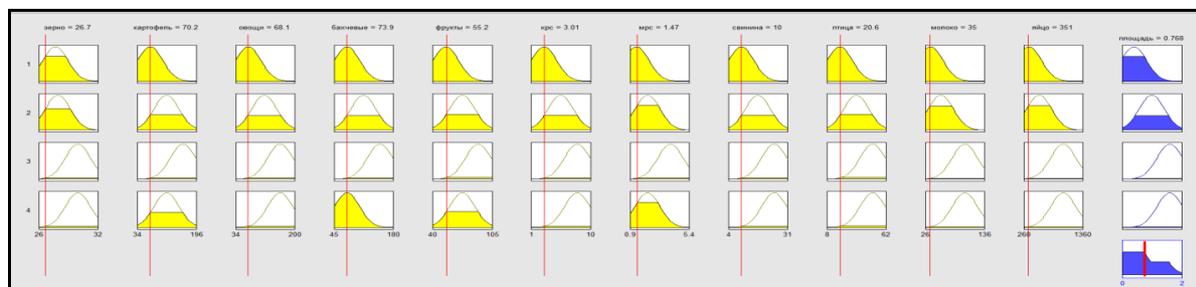


Рис. 3. Функции принадлежности входных переменных и дефазификационная выходная оценка – площадь

На рис. 3 представлено графическое средство, по которому в интерактивном режиме определяется площадь сельхозугодий на душу населения в зависимости от величины продовольственной корзины. В табл. 2 приведён пример зависимости сельхозугодий на душу населения от величины продовольственной корзины из интервалов исходных данных табл. 1.

Таблица 2

Зависимость сельхозугодий на душу населения от величины продовольственной корзины

Продовольственные товары потребительской корзины	
Зерно	28,5
Картофель	69
Овощи	50
Бахчевые	49
Фрукты	35
<b>Мясо:</b>	
Крупного рогатого скота	3
Мелкого рогатого скота	1,3
Свинины	8
Птицы	20
Молоко	30
Яйцо	300
<b>Площадь с/х угодий на душу населения, га</b>	<b>0,7</b>

Зависимости выходной переменной – площади от отдельных входных данных представлены на рис. 4.

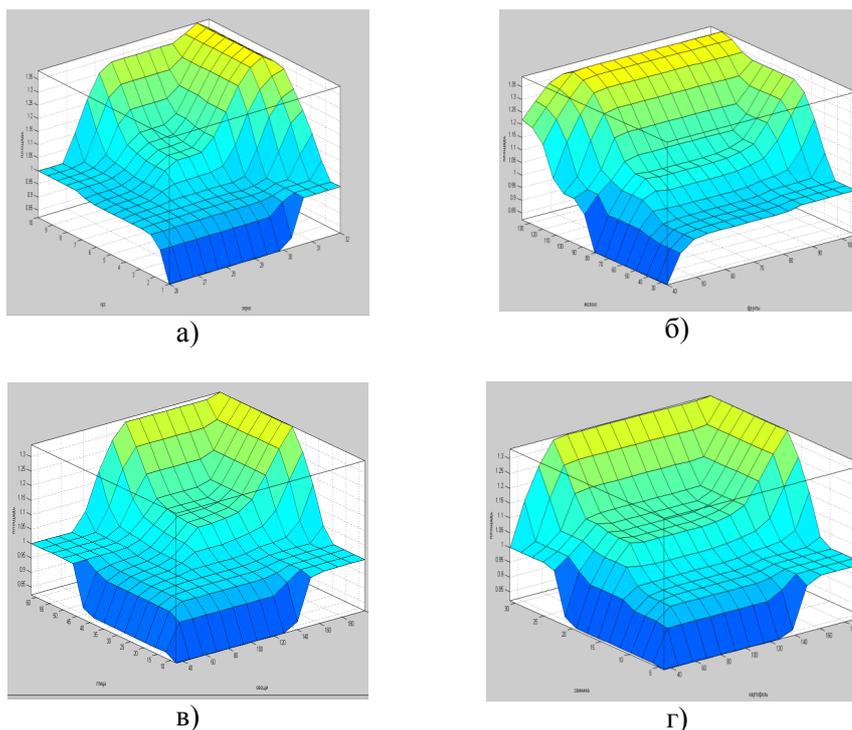


Рис. 4. Зависимость площади сельскохозяйственных земель на душу населения от парного количества продуктов в потребительской корзине: а – мясо КРС и зерно; б – молоко и фрукты; в – мясо птицы и овощи; г – свинина и картофель

В обратной задаче определяется зависимость продовольственной корзины от площади сельскохозяйственных земель на душу населения. Входная переменная – площадь сельскохозяйственных земель на душу населения, выходные переменные – товары потребительской корзины табл. 1.

Функции принадлежности входных переменных, а также дефазификационные выходные оценки представлены на рис. 5.

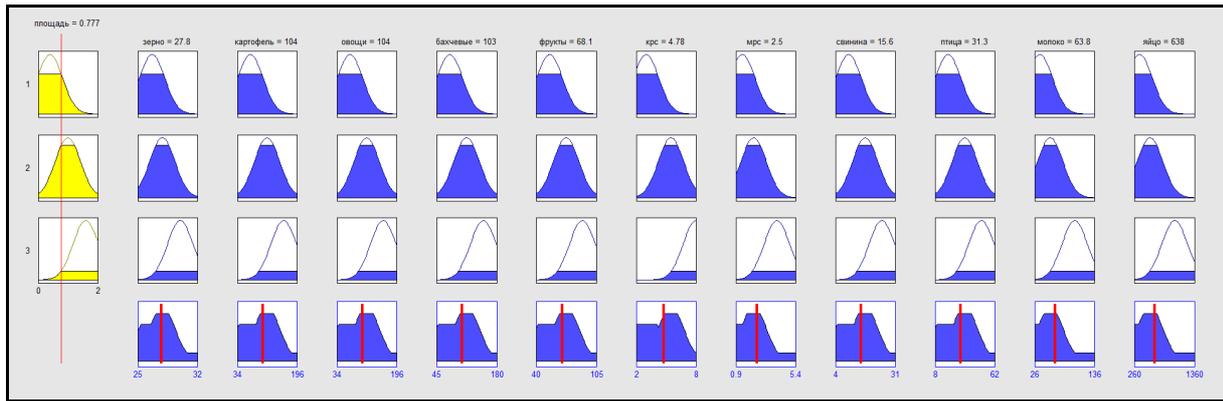


Рис. 5. Функции принадлежности входной переменный – площади и дефазификационная выходная оценка продовольственной корзины

Приведённые результаты показывают перспективность использования нечёткого моделирования для решения задач расширения производства сельскохозяйственных продуктов за счёт привлечения дополнительных земель на минимальном уровне.

### Библиография

1. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и её применение к принятию приближённых решений: монография. М.: Мир, 1976. 168 с.
2. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечёткая логика и искусственные нейронные сети: научное издание. М.: Физматлит, 2001. 224 с.
3. Тэрано Т., Асаи К., Сугэно М. Прикладные нечёткие системы: научное издание. М.: Мир, 1993. 368 с.
4. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH: учебное пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.
5. Шафизаде Э.Р., Шихлинская Р.Ю. Применение нечетких правил логического вывода к модели оптимизации производственно-отраслевой структуры сельского хозяйства для обеспечения продовольственной безопасности // Актуальні проблеми економіки. №1 (103). Киев, 2010. С. 286–294.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОБОДНЫХ И ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ КЛИНОРЕМЁННОЙ ПЕРЕДАЧИ

Исламова О.В.

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова*

Islamova\_81@mail.ru

*Рассматриваются свободные и гармонические колебания струны, движущейся в продольном направлении. При гармонических колебаниях источниками являются кинематические возмущения концов. Определены собственные значения струны и амплитуды колебаний. Выполнены численные расчеты, подтверждающие достоверность полученных результатов.*

**Ключевые слова:** струна, колебания, собственные значения, амплитуда.

## SIMULATION OF FREE AND HARMONIC VIBRATIONS BELT TRANSMISSION

Islamova O.V.

*Kabardino-Balkarian State University*

*We consider free and harmonic vibrations of a string moving in the longitudinal direction. When harmonic vibration sources are kinematic disturbance ends. Determined by the eigenvalues of the string and the oscillation amplitude. Numerical calculations, confirming the accuracy of the results.*

**Keywords:** string, oscillations, own values, amplitude.

Колебания струны в большинстве случаев являются нежелательными, так как понижают коэффициент полезного действия механизма, приводят к преждевременному износу, усталости и разрушению как ее самой, так и сопрягаемых деталей.

Расчеты, проведенные А.Л. Кульбачным [1], показывают, что коэффициент сопротивления движению конвейерной ленты из-за биения роликкоопор может составлять 9...17 % от его нормативного значения.

В некоторых случаях поперечные колебания могут играть положительную роль. Например, они способствуют удалению стружки, находящейся между абразивными зернами в абразивных лентах, позволяют интенсифицировать технологические операции грохочения и транспортирования в вибрационно-технологических машинах. Эти обстоятельства ставят проблему управления колебаниями струн в ранг актуальных задач.

Колебания струны, движущейся в продольном направлении, описываются уравнением

$$\ddot{u} + 2\varepsilon\dot{u} + 2\nu u' + (v^2 - \eta^2)u'' = 0, \quad (1)$$

$$(x, t) \in G = L \times R^1 = \{(x, t) : x \in L = (0, l), \quad t \in R^1\}, \quad t > -\infty$$

и граничными условиями

$$u(0, t) = f_1(t), \quad u(l, t) = f_2(t), \quad t > -\infty, \quad (2)$$

$\varepsilon = \gamma/2$ ,  $\eta = \sqrt{N/m}$  – скорость распространения поперечных волн по струне.

1. *Свободные колебания.* При свободных колебаниях струны  $\mathbf{f}(t) \equiv 0$  и граничные условия (2) становятся однородными

$$u(0, t) = 0, \quad u(l, t) = 0, \quad t > -\infty. \quad (3)$$

Используя методы разделения переменных и конечных разностей, получили однородную систему линейных алгебраических уравнений и представили её в матрично-векторной форме

$$\mathbf{B}(\lambda) \mathbf{y} = \mathbf{0}, \quad (4)$$

где  $\mathbf{B}(\lambda)$  – квадратная матрица порядка  $n$ ,  $\mathbf{y}^T = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$  – вектор, компонентами которого являются отклонения струны.

Условие существования нетривиального решения системы уравнений (4) дало частотное уравнение  $\det \mathbf{B}(\lambda) = 0$ , из которого определили собственные значения, т. е. спектр  $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots\}$ .

*Пример 1.* Для расчёта использован пресс, однокривошипный открытого простого действия усилием 250 тонн модели КО134 с клиноремённой передачей, имеющей характеристики:

расчётный диаметр шкива электродвигателя – 280 мм;

расчётный диаметр шкива маховика – 882 мм;

клиновые ремни В 4250 ГОСТ 1284-68 с параметрами

$l = 1,8$  м,  $N = 600$  Н,  $v = 20,5$  м/с,  $m = 0,30$  кг / м.

Определены первые три элемента спектра собственных частот

$$\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3\} = \{61, 625; 123,331; 185,021\}.$$

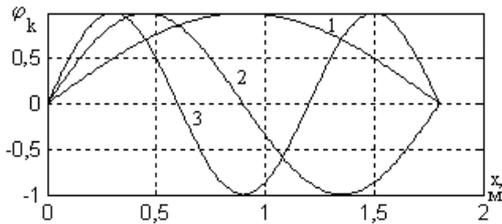


Рис. 1. Собственные формы

Спектр собственных форм  $\Phi_k(x)$ ,

$k = 1, 2, 3$  установлен с помощью системы уравнений (4).

Результаты счёта в виде графиков показаны на рис. 1. Для получения графиков взяты действительные части от  $y_i$ . Номера кривых при этом совпадают с номерами собственных частот; проведена нормировка форм, удовлетворяющая условию  $\max_i |y_i| = 1$ .

2. *Гармонические колебания.* Вынужденные детерминистические колебания струны в установившемся режиме при гармонических (кинематических) возмущениях описываются задачей (1), (2) где

$$f_k(t) = a_k e^{j(\Omega_k t + \psi_k)}, \quad k = 1, 2, \quad (5)$$

$a_k$  – действительная амплитуда,  $\Omega_k$  – частота возмущения,  $\psi_k$  – начальная фаза колебаний. В формуле (5) упрощено описание возмущений

$$a_k e^{j(\Omega_k t + \psi_k)} = A_k e^{j\Omega_k t}, \quad A_k = a_k e^{j\psi_k}.$$

Здесь  $A_k$  – комплексная амплитуда возмущения.

Поскольку система является линейной, применялся принцип суперпозиции в виде

$$u(x, t) = u_1(x, t) + u_2(x, t),$$

где  $u_k(x, t)$  – функция перемещений при автономном действии возмущения  $f_k(t)$ .

Реализация принципа суперпозиции осуществлялась в следующем порядке. Решали две автономные задачи, когда на систему действует лишь одно из воздействий, и оно с единичной амплитудой  $e^{j\Omega t}$ . В результате были найдены гармоники  $w_k(x, t)$ ,  $k = 1, 2$ . Решение исходной задачи является суммой (скалярным произведением векторов)

$$u(x, t) = (A, w). \quad (6)$$

Задача о колебаниях струны, кинематически возбуждаемых на правом конце, имеет вид:

$$\ddot{w}_2 + 2\varepsilon\dot{w}_2 + 2\nu\dot{w}_2' + (v^2 - \eta^2)w_2'' = 0, \quad (7)$$

$$(x, t) \in G = L \times R^1 = \{(x, t) : x \in L = (0, l), \quad t \in R^1\}, \quad t > -\infty,$$

$$w_2(0, t) = 0, \quad w_2(l, t) = e^{j\Omega_2 t}. \quad (8)$$

Её решение принято как произведение

$$w_2(x, t) = H_2(x, j\Omega_2) e^{j\Omega_2 t}, \quad (9)$$

где  $H_2(x, j\Omega_2)$  – передаточная функция. Подставив (9) в (7), (8) и применив метод конечных разностей, пришли к системе линейных алгебраических уравнений

$$y_1 = 0, \quad a_i y_{i-1} - c_i y_i + b_i y_{i+1} = 0, \quad i = 2, 3, \dots, n-1, \quad y_n = 0.$$

Для её решения использовался метод прогонки. Прогоночные коэффициенты найдены в виде

$$\alpha_2 = \beta_2 = 0, \quad \alpha_{i+1} = \frac{b_i}{c - \alpha_i a_i}, \quad \beta_{i+1} = \frac{a_i \beta_i}{c - \alpha_i a_i}, \quad i = 2, 3, \dots, n-1.$$

Амплитуда равна

$$a_u(x_i) = |y_i|, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Пример 2. Рассчитан тот же клиновой ремень, что и в предыдущем примере.

Изучена зависимость амплитуды колебаний от частоты возмущений. С этой целью построена серия кривых, изображённых на рис. 2. Номера линий соответствуют следующим частотам

$\Omega_1 = 0$ (прямая 1)  $\text{с}^{-1}$ ; 35(кривая 2)  $\text{с}^{-1}$ ; 80 (3)  $\text{с}^{-1}$ ; 100(4)  $\text{с}^{-1}$ ; 150 (5)  $\text{с}^{-1}$ .

Анализ кривых показывает следующее. При нулевом значении частоты возмущений (прямая 1) нагружение является статическим, и по существу струна отклоняется как в статической задаче, т.е. динамические эффекты отсутствуют.

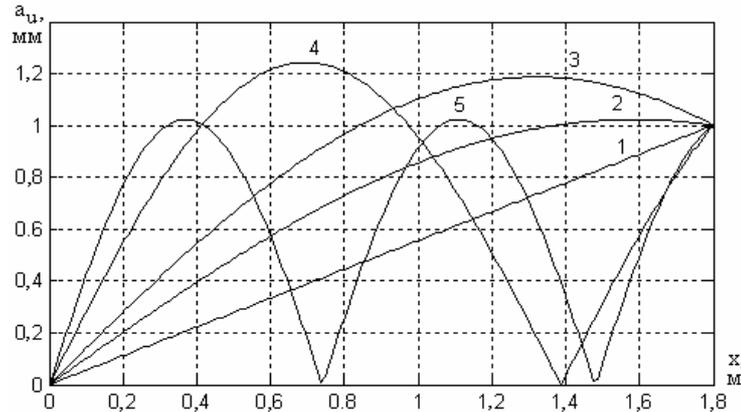


Рис. 2. Амплитуды колебаний при кинематических возмущениях на правом конце

При росте частоты  $\Omega_1$  (кривые 2, 3) амплитуды возрастают, формы их распределения совпадают с первой собственной формой. При совпадении  $\Omega$  с  $\omega_1$  амплитуды существенно возрастают и достигают больших значений (эта кривая здесь не показана), что квалифицируется как резонансные колебания. При частоте возмущений большей, чем первая собственная частота (кривая 4), колебания происходят уже по второй форме. При дальнейшем росте частоты происходит смена второй формы вынужденных колебаний на третью (кривая 5), затем на ещё более высокие формы, растёт многоволновость форм отклонений.

Задача о колебаниях струны, кинематически возбуждаемых на левом конце, имеет вид:

$$\ddot{w}_1 + 2\varepsilon\dot{w}_1 + 2\nu\dot{w}_1' + (v^2 - \eta^2)w_1'' = 0, \quad (10)$$

$$(x, t) \in G = L \times R^1 = \{(x, t) : x \in L = (0, l)\}, \quad t \in R^1\}, \quad t > -\infty$$

$$w_1(0, t) = e^{j\Omega_1 t}, \quad w_1(l, t) = 0. \quad (11)$$

Задача о колебаниях струны, кинематически возбуждаемых на левом конце (10), (11), принципиально ничем не отличается от задачи (8), (9) по определению  $w_2(x, t)$ . Если совместить начало координат с правым концом струны и изменить направление оси, то постановки двух задач полностью совпадают [2].

При равенстве частот, т. е.  $\Omega_1 = \Omega_2 = \Omega$ , суммарные колебания являются гармоническими, и формула (9) примет вид

$$u(x, t) = [A, H(x, j\Omega)]e^{j\Omega t}.$$

Соответствующая амплитуда выписывается легко

$$a_u(x) = |[A, H(x, j\Omega)]|.$$

### Библиография

1. Кульбачный А.Л. Колебания и сопротивление движению конвейерных лент от эксцентриситета роликов // Подъем.-трансп. оборуд. № 19. Киев. 1988. С. 73–76.
2. Культербаев Х.П., Исламова О.В. Математическая модель колебаний подвешенной струны с сосредоточенной массой // Изв. высш. учеб. завед. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2007. № 4. С. 41–46.

**ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЗУБЧАТО-РЕМЕННЫХ ПЕРЕДАЧ  
ПУТЕМ ВЫРАВНИВАНИЯ НАГРУЗКИ ПО ЗУБЬЯМ**

\*Сабанчиев Х.Х., Кибисhev И.А.

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова*

\*itf@mail.ru

*Изложена методика раскрытия статически неопределимой задачи о распределении нагрузки между контактируемыми парами зубьев на дуге обхвата зубчатой ременной передачи. Доказана возможность повышения нагрузочной способности путем выравнивания нагрузки между зубьями в передаче, прибегнув к специальным конструкторско-технологическим решениям: например, увеличив шаг зубьев колеса по сравнению с шагом зубьев ремня.*

**Ключевые слова:** зуб, распределение нагрузки, шаг зубьев, передача, зазор, ремень.

**INCREASE EFFICIENCY TOOTHED BELT DRIVES  
THROUGH THE TEETH OF A LOAD BALANCING**

Sabanchiev H.H., Kibishev I.A.

*Kabardino-Balkarian State University*

*The technique of opening a statically indeterminate problem of the distribution of load between the contacted pairs of teeth on the circumference of the arc tooth belt drive. Proved possible to increase the load capacity by load balancing between the teeth in the transmission of resorting to special design and technological solutions: for example, increasing the pitch of the gear teeth, compared with tooth pitch belt.*

**Keywords:** tooth, load distribution, tooth pitch, transfer, clearance, belt.

Как известно, работоспособность зубчато-ременной передачи определяется в основном прочностью и износостойкостью элементов зубчатого ремня. Так, в работе [1] показано, что тканевое покрытие зубьев ремня способствует возрастанию эксплуатационного ресурса зубчатого ремня в среднем на 10,5% при дополнительной пропитке ткани адгезионными составами на основе графитового порошка. Вместе с тем прочность зубьев и полотна ремня определяется наибольшей нагрузкой, приложенной к одной из пар зубьев на дуге обхвата шкива. Поэтому для повышения работоспособности ЗРП также необходимо решить задачу о распределении нагрузки по зубьям ремня и шкива, зависящей от числа сопрягаемых зубьев и их нагрузки на дуге обхвата шкива. В частных случаях при решении данной задачи полагают, что все  $Z_0$  зубьев ремня, находящиеся на дуге обхвата шкива, являются нагруженными. Однако в отличие от этого предложенный нами метод расчета позволяет определить действительное число работающих зубьев и воспринимаемую ими нагрузку при заданном окружном усилии.

Предварительный расчет числа работающих пар зубьев выполняем в предположении недеформируемости каркаса. При определении числа работающих зубьев и их расположения на дуге обхвата при заданном окружном усилии необходимо исходить из картины распределения зазоров между зубьями в различных парах при ненатянутом ремне и выбранном зазоре в базовой паре. При недеформируемом каркасе перемещения относительно каркаса каждого участвующего в передаче нагрузки зуба ремня отличаются от перемещения его базового зуба на величину зазора, имеющего место между этим зубом и зубом шкива при ненатянутом ремне и выбранном зазоре в базовой паре. Обозначим эти зазоры буквами:  $S_1, S_2, S_3 \dots$  и т.д. с возрастания цифры 1, 2, 3 ... по мере возрастания зазора. Тогда уравнение для предварительного выбора числа нагруженных зубьев ремня можно записать в виде:

$$\delta_K + (\delta_K - S_1) + (\delta_K - S_2) + \dots + (\delta_K - S_{n-1}) = P_{\text{окр}} \lambda_p, \quad (1)$$

или

$$n \delta_K - \sum_{i=1}^{n-1} S_i = P_{\text{окр}} \lambda_p,$$

где  $\delta_K$  – перемещение базового зуба ремня относительно каркаса;  $n$  – число нагруженных зубьев ремня, включая базовый;  $\lambda_{\square}$  – коэффициент тангенциальной податливости зуба ремня;  $S_1, S_2 \dots$  – минимальные зазоры между контактирующими парами зубьев при ненатянутом ремне и выбранном зазоре в базовой паре зубьев.

При случайном законе изменения зазоров  $S_i$  на дуге обхвата с выбранным зазором в базовой паре можно подобрать значения  $n$  и  $\delta_K$ , удовлетворяющие формуле (1). При этом необходимо, чтобы значение  $\delta_K$  было меньше, чем минимальный из зазоров  $S_{n_i}$  в разных парах зубьев, предполагаемых ненагруженными, т.е.  $\delta_K < S_{n_i}$ .

При линейном законе изменения зазоров между зубьями ремня и шкива с удалением от базового зуба в случае постоянства шагов ремня и шкива ( $t_p = \text{const}$ ,  $t_{шк} = \text{const}$ ) возможны следующие варианты соотношения между шагами зубьев ремня и шкива:  $t_p > t_{шк}$  при  $t_p - t_{шк} = \Delta t = \text{const}$  и  $t_p < t_{шк}$  при  $t_{шк} - t_p = \Delta t = \text{const}$ .

Как видно из рисунков, если  $t_{шк} > t_p$  при  $t_p = \text{const}$  и  $t_{шк} = \text{const}$ , то для ведущего шкива базовый зуб  $K$  расположен в конце дуги обхвата (см. рис. 1а) и, наоборот, для ведомого шкива в начале дуги обхвата (см. рис. 1б). Отсюда следует, что разность между зазорами  $S_a - S_{a+1}$  соседних зубьев при ненатянутом ремне во всех этих случаях равна величине разности шагов ремня и шкива, а по знаку зависит от положения на шкиве базовой пары

$$S_a - S_{a+1} = \pm \Delta t. \quad (2)$$

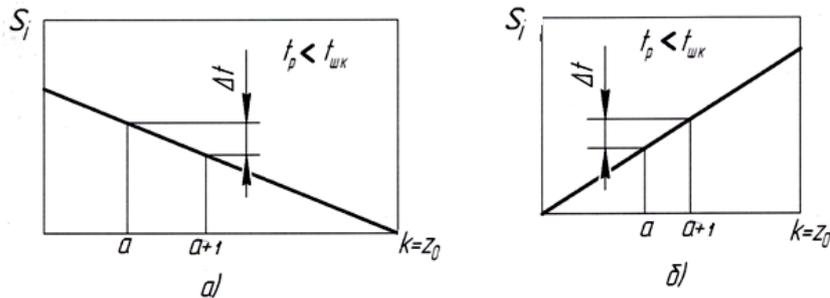


Рис. 1. Закон изменения зазоров на дуге обхвата при ненатянутом ремне

В этом случае уравнения совместимости деформаций для соседних зубьев на дуге обхвата шкива:

$$\delta_a - \delta_{a+1} = f_a - (S_a - S_{a+1}) \quad (3)$$

принимают вид: для ведущего шкива

$$\delta_a - \delta_{a+1} = f_a \pm \Delta t, \quad (4)$$

для ведомого шкива

$$\delta_a - \delta_{a-1} = f_a \pm \Delta t, \quad (5)$$

где верхний знак соответствует расположению базовой пары в начале дуги обхвата;

$f_a$  – растяжение  $i$ -го шага ремня, обусловленное действующей на этом шаге силой натяжения.

В частном случае, когда зазоры  $S_i$  между зубьями ремня и шкива, изменяются по закону  $S_1 = \Delta t$ ;  $S_2 = 2\Delta t$ ;  $S_3 = 3\Delta t \dots$  т.д., уравнение (1) для предварительного выбора числа нагруженных зубьев ремня без учета податливости каркаса приводится к виду

$$n \delta_K - \frac{(n-1)}{2} n \Delta t = P_{окр} \lambda_{\square}, \quad (6)$$

причем подобранные по этому уравнению значения должны удовлетворять неравенству  $\delta_K < n \Delta t$  (7), требующему сохранения зазоров в следующей паре зубьев в порядке удаления от базовой пары.

Наблюдения показывают, что некоторые зубья ремня оторваны от каркаса, и они повторяются по длине ремня по определенному циклу. Такое разрушение связано с тем, что зуб ремня (при  $t_p > t_{шк}$ ), расположенный в начале дуги зацепления со шкивом, имеет наибольшее смещение, отсюда – повышенная нагрузка на него и возникновение очага усталостной трещины в его впадине.

Однако эффект повышения долговечности ЗРП может быть достигнут путем выравнивания нагрузки по зубьям ремня и шкива, прибегнув к конструкторско-технологическим решениям: например, шаг зубьев шкива увеличить по сравнению с шагом зубьев ремня ( $t_{шк} > t_p$ ). В такой передаче базовая пара  $K$  расположена в конце дуги обхвата шкива (см. рис. 1а), и по мере увеличения окружной нагрузки зубья ремня последовательно садятся на зубья шкива, и зазор будет выбираться. При полной окружной нагрузке все зубья ремня будут нагружаться более равномерно, чем  $t_p > t_{шк}$  или  $t_p = t_{шк}$ .

После предварительного определения числа  $n$  работающих при данном окружном усилии зубьев система из  $n-1$  уравнений составляется для ведущего или для ведомого шкива.

Если  $t_p < t_{шк}$  ( $t_p = \text{const}$ ,  $t_{шк} = \text{const}$ ), для ведомого шкива система уравнений (рис. 1б), составленная на основе уравнения (5), имеет вид

$$\begin{aligned} (P_1 - P_2) &= - (F_2 + P_1) \lambda_k + \Delta t, \\ (P_2 - P_3) &= - (F_2 + P_1 + P_2) \lambda_k + \Delta t, \\ &\dots\dots\dots \\ (P_{n-1} - P_n) &= - (F_2 + \sum_{i=1}^{n-1} P_i) \lambda_k + \Delta t, \\ \sum_{i=1}^n P_i &= P_{окр}, \end{aligned} \tag{6}$$

где  $F_2$  – натяжение ведомой ветви ремня;  $P_i$  – нагрузка, приложенная на  $i$  – зуб ремня.

Результаты расчетов, выполненные на ЭВМ по уравнению (6) для передачи  $t_p < t_{шк}$  с модулем  $m=5$  мм, с одинаковыми шкивами, имеющими  $Z=24$  ( $Z_0=12$ ), представлены на рис. 2. Как видно из этого рисунка, кривые наглядно иллюстрируют зависимость числа работающих зубьев, их расположения на дуге обхвата и нагрузку этих зубьев от окружного усилия и коэффициента тяги  $\varphi$ .

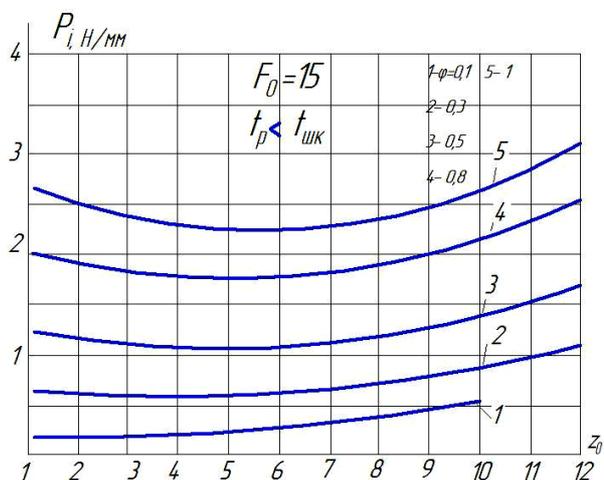


Рис. 2. Зависимость распределения нагрузки между зубьями от коэффициента тяги при

$$\lambda_k = 0,0025 \text{ мм}^2/\text{Н}; \lambda_D = 0,15 \frac{\text{Мм}^2}{\text{Н}}; \Delta t = 0,03 \text{ мм}$$

Так, при малых коэффициентах тяги вся нагрузка воспринимается лишь несколькими зубьями, а при полной нагрузке ( $\varphi=1$ ) все зубья ремня нагружаются более равномерно, чем в обычных передачах с  $t_p > t_{шк}$ .

Таким образом, полученная методика раскрытия статически неопределимой задачи передачи позволяет расчетным путем тем самым повысить долговечность и работоспособность зубчатого ремня.

### Библиография

1. Баханович А.Г. Повышение надежности зубчато-ременных передач путем снижения контактно-го трения зубьев // Наука, техника и технология нового века (НТТ-2009): материалы IV международной научно-технической конференции. Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 2009. С. 7–22.

## ХРАНИЛИЩА ДАННЫХ AMAZON EC2

Мирзоев Т., Фаутц А.

*Южный Университет Штата Джорджия*

*Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) является инновационным решением для быстрого создания виртуальных машин и конфигураций информационных центров. Анализ эффективности EC2 является главной задачей данной статьи. Будет рассмотрена цена, совместимость приложений и отказоустойчивость EC2 в сравнение с другими предложениями рынка США.*

**Ключевые слова:** Amazon EC2, облачные вычисления, Грин ИТ, СХД.

## AMAZON EC2 STORAGE

Mirzoev Dr.T., Fouts Amanda

*Georgia Southern University*

*Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) is claimed to be a pioneering solution to rapid hardware and configuration changes and temporary computing needs. A review of the efficient utilization of Elastic Compute Cloud is the focus of this study. Additionally, it is analyzed if EC2 is a reliable and an efficient storage configuration, and whether EC2 is suitable or priced competitively for many applications. A comparison of case studies is referenced to measure and relay the effectiveness of EC2 configurations.*

**Keywords:** Amazon EC2, Cloud Computing, Green IT, Storage.

Cloud is a model of a shared pool of configurable resources like servers and storage that are rapidly scalable [1]. It could also be referred to as a coherent, large-scale, and publicly accessible collection of computing, storage, and networking resources [2]. Elastic Compute Cloud is an infrastructure in which server instances can be launched rapidly running the Amazon Machine Image (AMI) featuring a variety of operating systems, including Linux, Windows and others. EC2 uses a preset machine size for those instances, which some have found limiting in more ways than one [3]. An example could be when more memory for an image is needed due to database constraints and twelve large instances had to be created to serve the purpose of one single instance [3]. This study explores the effective uses of EC2, which is claimed to be an innovative solution for: 1) making hardware and configuration changes quickly, 2) temporary computing needs that reduce startup costs 3) creating more reliable configurations than the industry standard physical hard drive and server configurations. A comparison of case studies is used to research and present findings. The goal of this study is to explore how EC2 is used and configured correctly in order to benefit from EC2 hosting instances.

**Configuration changes using EC2.** EC2 is designed for rapid scalability using tools that required complicated system architecture and a major investment in hardware in the past[2]. EC2 allows to do the following: 1) increase or decrease capacity very quickly [2], 2) as Figure 1 presents, hundreds of server instances can be created or destroyed rapidly [2], 3) applications can be automatically scaled up or down using a programmable configuration control [2], 4) scaling can be done in response to needs, and AMIs can be commissioned and de-commissioned as needed [4], 5) auto Scaling uses a rule-driven system to encode the logic that adds and removes EC2 instances. Hardware usage can be set to scale up or down with demand or website usage. This can be done across multiple Availability Zones [2], 6) place instances in various Availability Zones in order to provide RAID type protection from failure [4].

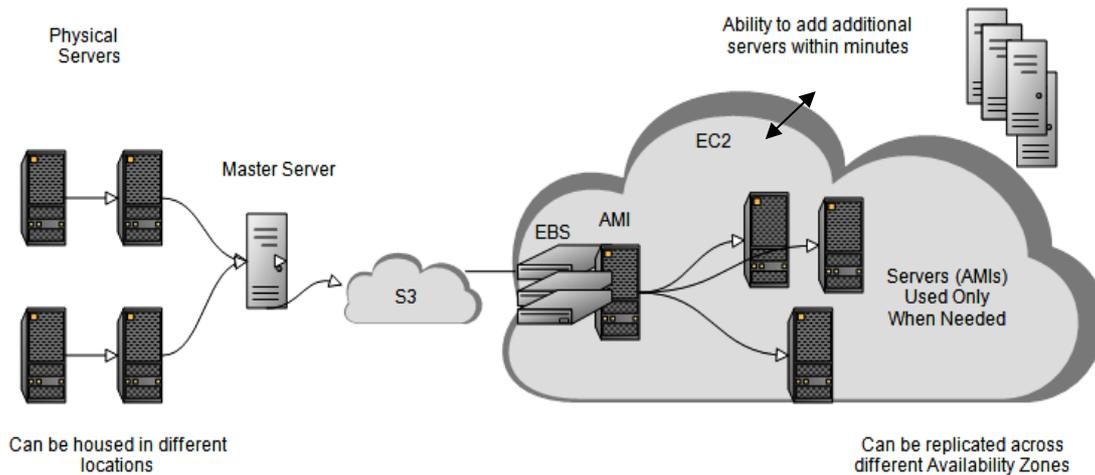


Figure 1. EC2 Configuration

Source: adapted from Zmanda Cloud Backup adds Tokyo as its latest cloud storage location: Zmanda

It is in the best interests of the supplier of EC2 to drive costs down over time and keep dedicated personnel permanently [2]. As Figure 1 depicts, additional servers are scalable and can be added rapidly. For more rapid scalability, EC2 can be an asset for companies that require employing large scale architecture with massive startup costs [4].

**EC2 at work: findthebest.com and others.** Several companies have offered case studies for review on the Amazon web site regarding the use of EC2. The FindTheBest.com case study describes how FindTheBest.com, an online company that offers an objective comparison engine. It allows users to compare options for smart phones and colleges, switched from a Virtual Private Server (VPS) system to Amazon Web Services (AWS). This case study investigates switching to AWS and EC2 for stability, scalability, flexibility, price, and manageability.

Another study is in regards to Data Security Systems (DS3) and DS3's effective utilization of Elastic Compute Cloud. DS3 is a company that specializes in deploying authentication servers to banks and financial institutions. Implementing EC2 has made business more cost effective for DS3. DS3 uses EC2 for authentication and transaction services. AWS and EC2 have allowed this company to use EC2 effectively to lower costs and increase productivity (Data Security Systems Solutions, 2011). DS3 has begun using EC2 for authentication and transaction processing to allay some of their high startup costs linked to physical servers needed for those tasks [5]. As Figure 2 shows, the Auto Scaling feature of EC2 can enable a dot com startup to handle this increased volume rapidly and without the need for costly additional hardware that may go unused in the future.

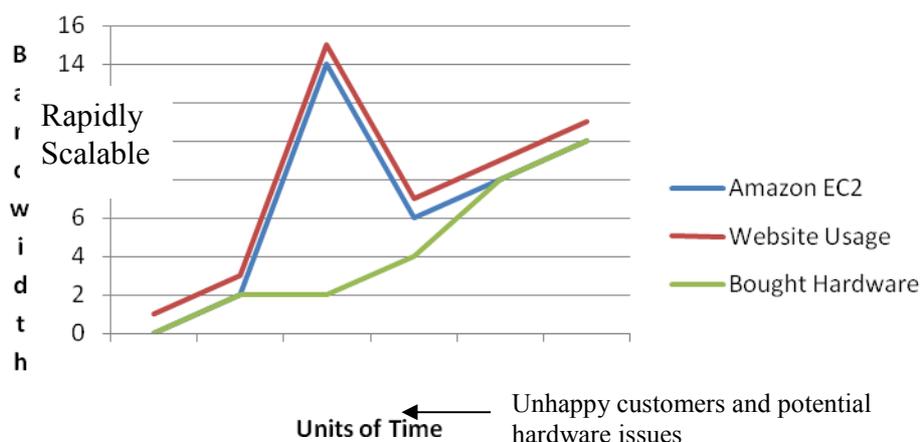


Figure 2. EC2 Website Spike Comparison

In another example, 6waves, a publisher of Facebook games, cites reasons for EC2 usage which include configuration processes that have to be repeated on every newly purchased physical server. These configuration processes cost time and effort [6]. Installing updates, customizing the system, and adding users is time consum-

ing and often prone to error. For 6waves, monitoring a server's physical health and handling hard disk failures were the instances in which EC2 was an innovative improvement in making hardware and configuration changes quickly [6].

EC2 is an innovative solution to temporary computing needs and situations in which funds for an initial IT investment do not exist [7]. This provisional computing is effectively used by many training programs that only require resources for a short amount of time [2]. Rhonda Abrams from USA Today states that 85 % of new businesses fail within the first year. In fact, many new businesses are in operation less than five years [8]. EC2 requires no upfront investment, experimentation is inexpensive and operations are scalable. This is a significant advantage since matching predictions and new website resources can turn into a real problem in which overestimation can cause increased costs and wasting of company resources. Underestimation may translate into thousands of lost customers due to website outages or other problems. EC2 enables a company to do more with less [2].

**EC2 reliability and its disadvantages.** There are many instances where EC2 does not offer an advantage over physical servers and in which EC2 would not be an efficient use of cloud computing. A user must be aware of many risks involved when utilizing EC2. An example of a risk that might occur is when one site is the subject of a site with much higher traffic. Without advertising, or some revenue from large amounts of traffic, extra charges are incurred rapidly [9]. Another example of an included risk is an unused instance running accidentally all day every day. Charges are normally calculated based on the instance usage; accidentally leaving an instance running could cost a lot more than intended, especially if the instance would be left unused. A customer was accidentally charged \$600 more for an EC2 instance that was left running unbeknownst to him [10]. As a service, EC2 allows for renting of online servers. Leaving an unused server instance running is like paying rent on a house without occupants. There is also the inherent risk that Amazon may have a hardware failure, blacking out service. One outage made sites in Britain and other European countries unavailable for almost half an hour [11]. This type of service outage may not seem significant when compared to physical server outage, but it could be a concern for EC2 users.

EC2 is often not a good choice for larger organizations. A separation of duties may not be available for companies in which IT is distributed to multiple team members. It may be difficult to separate security tasks from tasks related to establishing servers when using EC2 for data storage needs [12]. Another security issue is that EC2 allows for home access. Figure 3 shows that EC2 can be more expensive than dedicated GoDaddy servers as well. Generally, the faster applications need to be scaled, the more expensive the process becomes. EC2 is recommended mainly for applications that need scalability within minutes [3]. Average scalability may be achieved for less through owning hardware as long as days or weeks can be allotted for the expansion of the application [3]. Figure 3 details the estimated cost comparison for EC2. EC2 is not always the cost leader and may not be the best choice for some types of installations.

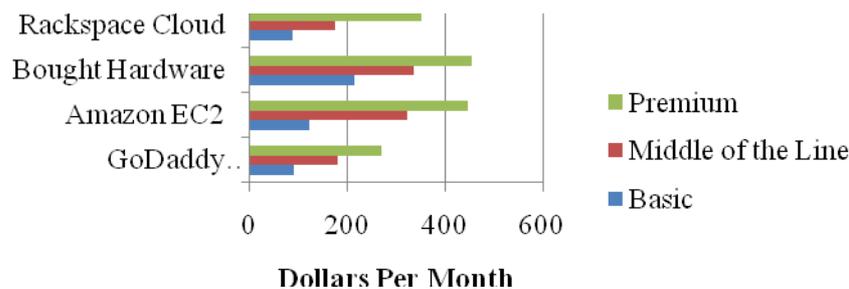


Figure 3. EC2 Cost Comparison Estimate

The entire architecture of an application or site, especially including database information, may need to be altered to realize the full benefits of EC2, and this could take a considerable amount of time and effort [3]. Amazon Machine Images may not completely adhere to company's goals in a price-efficient manner [3]. Leader also recommends a managed server platform over EC2 for a website configuration [3]. He stresses determining capacity and latencies of predetermined instance sizes and comparing hosted server costs to determine if EC2 is the right infrastructure choice [3]. Knowing how to distribute applications across multiple instances and how to take advantage of this type of computing, and becoming familiar with server self-management are among the key challenges of a successful Amazon EC2 utilization.

**Conclusions and recommendations.** The results of this study have shown that EC2 is not the most economical method at all times and sometimes it is not the most efficient method for data storage and server configurations. EC2 is a relatively new technology and not much comparison has been made regarding EC2 and its long-term usage in a datacenter other than pricing information. This could impact the results of this study since

long-term results are not immediately quantifiable. For example, some companies have switched to EC2 due to outages with previous providers [12]. EC2 is most effective for websites that expect surges in traffic, make money from traffic, and aren't sure how long they may remain popular or stay in business. AMIs should be backed up using multiple Availability Zones and Elastic Block Store should be used for persistent data storage. In order to save time and money, AMIs should be stored as pre-configured instances that can be created and instantiated rapidly [2]. In some cases, applications and programs should be written to be distributed across multiple instances in order to achieve the best results. When configured and utilized correctly, EC2 can be an innovative solution for: 1) making hardware and configuration changes quickly, 2) temporary computing needs that reduce startup costs, 3) creating more reliable configurations than the standard physical hard drive and server configurations.

### References

1. Mell P., & Grance T. The NIST definition of cloud computing. NIST.gov: [www document] [csrc.nist.gov](http://csrc.nist.gov).
2. Barr J. Host your website in the cloud Amazon web services made easy. Seattle. Washington: Amazon Web Services, LLC.
3. Leider J. Is Amazon's EC2 right for you. Derivante.com: [WWW document] [derivante.com](http://derivante.com).
4. Varia J. Architecting for the cloud: best practices. Amazon AWS.com: [www document] [jineshvaria.s3.amazonaws.com](http://jineshvaria.s3.amazonaws.com).
5. Data security systems solutions. AWS Case Study: data security systems solutions. Amazon.com: [www document] [aws.amazon.com](http://aws.amazon.com).
6. AWS Case Study: 6 waves limited rides the AWS wave. Amazon.com: [www document] [aws.amazon.com](http://aws.amazon.com).
7. Friis M. Rent vs. buy (or EC2 vs. building your own iron). Friism.com: [www document] [friism.com](http://friism.com).
8. Abrams R. Focus on success, not failure. USA Today: [www document] [usatoday.com](http://usatoday.com).
9. Abrahamsen I. Ec2 – Amazon elastic compute cloud tips and howtos. Flurdy.com: [www document] [flurdy.com](http://flurdy.com).
10. Miles D. Amazon web services discussion forums. Amazon.com: [www document] [forums.aws.amazon.com](http://forums.aws.amazon.com).
11. Rooney B. Outage hits Amazon European sites // The Wall Street Journal: [www document] <http://blogs.wsj.com>.
12. Find The Best.com. Case Study: Find The Best.com. Amazon.com: [www document] [aws.amazon.com](http://aws.amazon.com).

## **Требования к оформлению научной статьи, представляемой в журнал «Известия Кабардино-Балкарского государственного университета»**

Для публикации в журнале «Известия Кабардино-Балкарского государственного университета» принимаются статьи на русском или английском языках, содержащие результаты актуальных фундаментальных и прикладных исследований, передовых наукоемких технологий, научных и научно-методических работ.

### **1. Основные документы, необходимые для публикации**

1.1. Один экземпляр статьи в бумажном виде и на электронном носителе отдельным файлом (на диске); на наклейке диска (дискеты) (обязательно!) указываются фамилия автора (авторов) и название статьи.

1.2. Полные сведения об авторе (авторах) на русском и английском языках в бумажном виде и в электронном варианте, оформленном отдельным от статьи файлом, который включает в себя следующие данные:

- фамилия, имя, отчество (полностью) каждого автора;
- место работы (наименование организации), ученая степень, ученое звание, должность каждого автора;
- контактные телефоны, почтовый индекс и адрес, адрес электронной почты (e-mail) каждого автора.

1.3. Сопроводительное письмо на бланке учреждения, где выполнена работа.

1.4. Внешняя рецензия доктора наук (по желанию).

1.5. Акт экспертизы о возможности опубликования в открытой печати – для физико-математических, химических, биологических, технических, экономических наук и науки о земле.

1.6. Справка об учебе в аспирантуре или докторантуре для аспирантов и докторантов.

1.7. «Лицензионный договор» (один на авторский коллектив) в 2-х экз. Без Договора статья не будет опубликована. Текст Договора размещен на сайте журнала «Известия КБГУ».

### **2. Правила оформления статьи**

2.1. Объем статьи – в пределах 15 страниц формата А4, интервал – 1,5, размер шрифта Times New Roman Cyr 14 пт; поля страницы: слева – 3 см, справа – 1 см, сверху – 2,0 см, снизу – 2,5 см.

Краткие сообщения – в пределах 4 машинописных страниц, включающих не более 2 рисунков и 2 таблиц.

2.2. Статья должна включать:

- индекс УДК (универсальная десятичная классификация) в верхнем левом углу;
- название статьи (на русском и английском языках);
- фамилия, имя, отчество автора (авторов) (на русском и английском языках);
- реферат статьи (до 500 знаков) (на русском и английском языках);
- ключевые слова (5–7 слов на русском и английском языках);
- текст статьи, отражающий цель исследования, методы работы, собственно исследования, конкретные выводы;
- библиография (в библиографическом списке нумерация источников должна соответствовать очередности ссылок на них в тексте; номер источника в тексте указывается в квадратных скобках – автоматическая нумерация ссылок не допускается);

- подпись автора (авторов).

2.3. Иллюстрации к статье (рисунки, фотографии) должны быть черно-белыми, четкими (разрешение не менее 300 dpi, расширение \*.jpg) и вставлены в текст. Обычный размер иллюстраций – не более половины листа А4. Формулы и символы помещаются в текст с использованием редактора формул Microsoft Education. Таблицы вставляются в текст; ссылки на рисунки и таблицы обязательны; названия таблиц и подписей подписей обязательны.

2.4. Нумерация страниц обязательна.

2.5. Тип файла в электронном виде – RTF.

### **Образцы оформления библиографии:**

*книга*

Самарский А.А., Гулин А.В. Устойчивость разностных схем. М.: Наука, 1973. 210 с.

Интегральные схемы: Принципы конструирования и производства / под ред. А.А. Колосова. М.: Сов. радио, 1989. 280 с.

*статья из книги, сборника, журнала*

Петренко В.И., Доготь А.Я. Пневмогидравлический кавитационный процесс // Геодинамические основы прогнозирования нефтегазоносности недр: тезисы докладов 1-й Всесоюзной конференции. М., 1988. Ч. 3. С. 616–617.

Хлынов В.А. Общегосударственное планирование рыночной экономики: Опыт Японии // Экономист. 1994. № 4. С. 89–94.

Базаров А.Ж. О некоторых нелокальных краевых задачах для модельных уравнений второго порядка // Известия вузов. Математика. 1990. Т. 2, № 3. С. 11–15.

*диссертации и авторефераты диссертаций*

Ерков С.А. Формирование художественного восприятия произведений изобразительного искусства на уроках изобразительного искусства в 5, 6 классах средней общеобразовательной школы: дис... канд. пед. наук. М., 2006. 184 с.

Вахромов Е.Е. Психологические особенности самоактуализации подростков с отклоняющимся поведением: автореф. дис... канд. психол. наук. М., 2003. 30 с.

*При несоблюдении указанных правил редакция оставляет за собой право не публиковать статью.*

### **3. Порядок рецензирования**

3.1. Рукопись направляется на рецензирование ведущим специалистам в данной области (внешнее и внутреннее рецензирование).

3.2. Результаты рецензирования редакция сообщает автору по электронной почте.

3.2. По результатам рецензирования редколлегия принимает решение о целесообразности опубликования материала, о чем дополнительно сообщается автору.

Статьи представляются в редакционно-издательский отдел ИПЦ КБГУ.

Адрес ИПЦ КБГУ: 360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173.

Контактный телефон: (8662) 72-23-13.

E-mail: [rio@kbsu.ru](mailto:rio@kbsu.ru), [izvestia\\_kbsu@mail.ru](mailto:izvestia_kbsu@mail.ru). E-mail-адрес защищен от спам-ботов, для его просмотра у вас должен быть включен Javascript.

Ответственный секретарь редакции – **Шогенова Марина Чашифовна.**

После положительного решения редколлегии о публикации статьи в журнале «Известия КБГУ» автор (или авторы) статьи перечисляет на р. сч. КБГУ плату из расчета 500 руб. (в т.ч. НДС) за страницу рукописи.

Назначение платежа: редакционно-издательские услуги («Известия КБГУ»), код дохода 07430201010010000130, разрешение № 0732069510 от 30.03.05 г. пункт 1. В стоимость входят расходы по доставке журнала по территории России. Автор (или авторы) статьи получает 2 экземпляра журнала бесплатно.

Для выкупа дополнительных номеров журнала необходимо передать в редакцию (ИПЦ КБГУ) письмо-заявку с указанием номера и количества экземпляров журнала и перечислить на р. сч. КБГУ плату из расчета 250 руб. (в т.ч. НДС) за один экземпляр журнала с назначением платежа: редакционно-издательские услуги (за журнал «Известия КБГУ»), код дохода 07430201010010000130, разрешение № 0732069510 от 30.03.05 г. пункт 1.

### **Реквизиты КБГУ для платежей:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова» (КБГУ)

Почтовый и юридический адрес:

360004, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173

Телефон: 42-25-60,

Voice/fax: +7(495) 3379955

Телетайп: 257245 «Альфа»

E-mail: [bsk@kbsu.ru](mailto:bsk@kbsu.ru)

ОКПО 02069510

ОКОНХ 92110

ОГРН 1020700739234 от 22.07.11г.

ОКОГУ 13240

ОКАТО 83401000000

ОКЭВД 80.30.1

ОКОПФ 72

ОКФС 12

Банковские реквизиты:

Получатель:

ИНН 0711037537/ КПП 072501001

Отдел № 1 УФК по Кабардино-Балкарской Республике (0401 КБГУ л/с 20046Х17540)

Банк получателя:

ГРКЦ НБ Кабардино-Балкарск. Респ. Банка России г. Нальчика

БИК 048327001

Р/с 40501810100272000002

КБК 00000000000000000130

Копия платежного документа передается или высылается в редакцию журнала по электронной почте.

**ИЗВЕСТИЯ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**PROCEEDING OF THE  
KABARDINO-BALKARIAN  
STATE UNIVERSITY**

**ТОМ IV, № 5, 2014**

Редактор *Л.З. Кулова*  
Компьютерная верстка *Е.Л. Шериевой*  
Корректор *Л.З. Кулова*

В печать 23.10.2014. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Печать трафаретная. Бумага офсетная. 13.02 усл.п.л. 13.0 уч.-изд.л.  
Тираж 1000 экз. Заказ № .  
Кабардино-Балкарский государственный университет.  
360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173.

Полиграфическое подразделение КБГУ.  
360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173.