

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

---

# НАУКА ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

---

---

**Сборник  
научных трудов**

**г. Новосибирск, 05-09 декабря 2016 г.  
В 9-и частях**

**Часть 2**

НОВОСИБИРСК  
2016

УДК 62(063)

ББК 72.5я431

Н34

**Н34 НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ** //Сборник научных трудов в 9 ч. / под ред. проф. Б.Ю. Лемешко, проф. А.А. Попова, проф. М.Э. Рояка, доц. В.С. Тимофеева. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – Часть 2. – 262 с.

ISBN 978-5-7782-3082-8

ISBN 978-5-7782-3084-2

В сборнике публикуются материалы по научным направлениям:  
*«Информационные технологии математического моделирования и обработки данных»*

Проект выполнен при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Программы развития деятельности студенческих объединений образовательных организаций высшего образования на 2016 год (ПРДСО-2016).

---

---

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

### **Председатель Оргкомитета:**

Батаев А.А., д.т.н., профессор, ректор НГТУ

### **Зам. председателя Оргкомитета:**

Вострецов А.Г., д.т.н., профессор, проректор по научной работе НГТУ

Гурова Е.Г., к.т.н., доцент, директор ЦНТРС

### **Программный комитет:**

Янпольский В.В., к.т.н. доцент, декан МТФ

Драгунов В.П., д.т.н., доцент, начальник ОПК ВК

Поляков С.А., к.ю.н., доцент, декан ЮФ

Рева И.Л., к.т.н., доцент, декан АВТФ

Ромм М.В., д.ф.н., профессор, декан ФГО

Чернов С.С., к.э.н., доцент, декан ФЭН

Тимофеев В.С., д.т.н., доцент, декан ФПМИ

Хайруллина М.В., д.э.н., профессор, декан ФБ

Хрусталев В.А., д.т.н., профессор, декан РЭФ

Штанг А.А., к.т.н., доцент, декан ФМА

Корель И.И., к.ф-м.н., доцент, декан ФТФ

Саленко С.Д., д.т.н., профессор, декан ФЛА

Осмук Л.А., д.социол.н., профессор, зав. каф. СРСА

УДК 62(063)

ББК 72.5я431

ISBN 978-5-7782-3084-2

ISBN 978-5-7782-3082-8

© Коллектив авторов, 2016

© Новосибирский государственный  
технический университет, 2016

## Секция МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

, [ashimov-i@yandex.ru](mailto:ashimov-i@yandex.ru)

*В работе рассматривается вопрос о сближении космических аппаратов на целевой орбите, а также фазирование космического аппарата на известную орбиту цели.*

*This article considers the question of convergence of spacecraft into the target orbit, as well as the phasing of the spacecraft to orbit known purpose.*

Сближением космических аппаратов (КА) называют такой маневр, в результате которого активный управляемый КА приближается к другому на заданное расстояние с требуемой космической скоростью. Не маневрирующий КА, движущийся по известной орбите, называется целью. Для моделирования сближения космических аппаратов рассматриваются две задачи: одновременность прилета в точку встречи и фазирование.

Одновременный прилет в точку встречи осуществляется по следующей схеме (рис.1): активный аппарат («А») выводится непосредственно в зону встречи с пассивным аппаратом («С»). Момент запуска выбирается с тем расчетом, чтобы точка выхода активного аппарата на орбиту попала в окрестность расчетной точки встречи.

При фазировании на орбиту активный КА «А» выводится на орбиту ожидания и в течение некоторого времени находится на ней. В начальный момент времени угловое расстояние между аппаратами составляет угол  $\psi_0$ . После того как КА «С» достигнет точки  $C_2$  (сделает 1 оборот) угловое расстояние  $\psi_0$  между аппаратами уменьшится на величину  $\Delta\psi_1$ . Необходимо, чтобы расстояние между т. А и т. С стало

равно  $\Delta\psi_f$ . В этот момент КА «A» сообщается импульс  $\Delta V_1$  для перехода на эллипс Гомана.

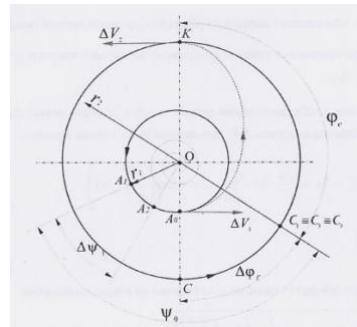


Рисунок 1 – Сближение КА

Для реализации моделирования одновременности прилета в точку встречи и фазирования на орбиту было разработано программное обеспечение (ПО), позволяющее производить расчет параметров движения активного аппарата А и цели С и многие другие параметры. Данные представляются как численные так и визуализированные (рис.2).

Дальнейшее развитие исследований будет проводиться в направление учета внешних возмущений, так же, будет осуществлена визуализация межпланетных перелетов КА.

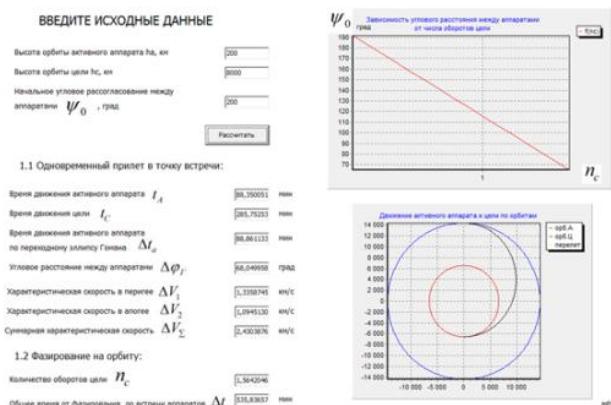


Рисунок 2 – Общий вид программы с численными и визуализированными данными

Литература:

1. Сихарулидзе Ю.Г. Баллистика летательных аппаратов. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982.– 352 с.

## LOGIT-

• •  
— • • • , • •  
• , [bakhanets.ann@gmail.com](mailto:bakhanets.ann@gmail.com)

*Объектом исследования является критерий Вальда в логистической регрессии. Цель работы – исследование свойств распределения статистик при условии нарушения априорных предположений об ошибке наблюдения.*

*The object of this research is Wald test in logistic regression. The objective of this work consists of research of statistic's distribution properties in a condition of some assumptions violations.*

В ходе работы была реализована процедура нахождения оценок параметров логистической регрессии методом максимального правдоподобия, сводимая к решению системы нелинейных уравнений методом Ньютона [1], а также получен вид статистики Вальда для логистической регрессии [2]

$$W = \hat{\beta}^T (\hat{V}^{-1} \hat{\beta}), \quad (1)$$

$$\hat{V} = diag \left( \frac{e^{x_i \hat{\beta}}}{\left(1 + e^{x_i \hat{\beta}}\right)^2} \right), i = 1, n.$$

Помимо распределения статистики Вальда исследовалось распределение нормированных оценок параметров  $\beta$

$$\frac{\hat{\beta}}{(\hat{V}^{-1})^{-1}} \sim N(0, 1), \quad (2)$$

где  $N(0,1)$  – стандартное нормальное распределение.

Относительно ошибок наблюдения в логистической регрессии вводится предположение о их независимости и принадлежности одному и тому же симметричному закону распределения с нулевым средним и дисперсией  $\sigma^2$  [3]. В работе исследовалось влияние нарушения этих предположений (за исключением предположения о независимости) на свойства критерия Вальда.

В рамках работы было исследовано влияние, оказываемое на распределение статистики Вальда (1) и на распределения нормированных оценок параметров  $\beta$  (2): размерности модели (сходимость распределений статистик в зависимости от количества наблюдений  $n$ ); закона распределения ошибок наблюдения; неоднородности закона распределения ошибок (как по дисперсии, так и по виду закона). Исследования распределений статистик проводились при справедливости проверяемой гипотезы и предположении о нулевых (истинных) значениях параметра  $\beta$ .

По итогам исследований было отмечено, что устойчивость критерия Вальда к изменению закона распределения ошибок наблюдений соблюдается в случае симметричности последнего. Существенные отклонения отмечаются в случае принадлежности ошибок несимметричным законам, причем даже тогда, когда доля таких наблюдений в выборке невелика. При симметричных же законах наблюдается высокая степень устойчивости критерия, с одной только оговоркой, что сходимость критерия по объему выборки весьма медленная. Исследования показали, что неоднородность дисперсий ошибок и сильный разброс в масштабах факторов не оказывает практически никакого влияния.

Были проведены исследования мощности критерия Вальда относительно различных конкурирующих гипотез при различном количестве наблюдений, различных законах распределения ошибки и гетероскедастичности. Исследования показали, что чем «тяжелее» хвосты распределения ошибок наблюдения, тем выше мощность критерия Вальда. Несимметричность закона распределения ошибок также влияет на мощность, но характер влияния зависит от направления «скошенности» закона. Например, в случае распределения минимальных значений мощность обычно выше, чем при симметричных законах, а в случае закона максимальных значений – ниже.

Литература:

- Голованов Н. Н. Геометрическое моделирование. – М.: Физматлит, 2002. – 472 с.

2. Rao C. R. Linear Statistical Inference and its Application. – Canada: John A Wiley-Interscience Publication, 2002. – 625 p.
  3. Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. Эконометрика: Начальный курс: учебник. – М.: Дело, 2004. – 576 с.
- •  
— . . — . . . . ,

, nsk\_good@list.ru

*В работе рассматривается задача определения внутренней структуры трехмерного объекта по интегральным данным, полученным при томографическом сканировании по конусной схеме с вертикальной осью.*

*We consider the problem of determining the internal structure of the three-dimensional object from integral data obtained by homographic scanning using a cone scheme with a vertical axis.*

Проблема реконструкции изображений по проекциям имеет большое значение в ряде областей науки. Наиболее важный практический аспект этой проблемы для медицины связан с возможностью получения информации о распределении плотности разных тканей внутри организма пациента по многим проекциям, измеренным в поле рентгеновского излучения. Такой процесс получил название реконструктивной томографии. Именно реконструктивная томография произвела в 70-ые годы прошлого столетия подлинную революцию в радиологической диагностике, а работы Кормака и Хаунсфилда по реконструктивной томографии были удостоены Нобелевской премии по физиологии и медицине за 1979 г [1].

Рассмотрим задачу определения внутренней структуры трехмерного объекта по интегральным данным, полученным при томографическом сканировании среды с использованием конусной схемы с вертикальной осью [2, 3]. Математическая модель задачи позволяет использовать развитые методы интегральной геометрии [4, 5]

Введём обозначения:

$$x = (x_1, x_2) \in R^2, \xi = (\xi_1, \xi_2) \in R^2, y \in R^1, \eta \in R^1; (x, y) \in D.$$

. Восстановить функцию  $u(x, y)$  в области  $D$ , если известны интегралы от нее по конусам семейства  $K(x, y)$  с весовой функцией  $g(x, y)$ :

$$\int_{Y(x, y)} g(x, \xi) u(x, y) d\xi = f(x, y), \quad (1)$$

где  $K(x, y) = \{(\xi, \eta) : |x - \xi| = y - \eta, 0 \leq \eta \leq y \leq H\}$ .

Задача решения уравнения (1) представляет собой задачу интегральной геометрии [6, 7].

В работе исследованы вопросы единственности и существования решения, получено аналитическое представление решения в классе гладких финитных функций. Представлены оценки решения задачи в соболевских пространствах. На основе формулы обращения разработан алгоритм устойчивого решения задачи.

Литература:

1. Natterer F. The Mathematics of Computerized Tomography. B. G. Teubner. 1986. – 222 p.
2. Begmatov A.H. Inversion of X-ray Transforms with Incomplete Data in n-Dimensional Space// International forum on strategic technology, IFOST 2016, Novosibirsk, Russia, 1–3 june 2016: Conference proceedings. Part 3. – Novosibirsk, 2016. – P. 99–101.
3. Begmatov A.H., Djaykov G.M. Numerical Recovery of Function in a Strip from Given Integral Data on Linear Manifolds// International forum on strategic technology, IFOST 2016, Novosibirsk, Russia, 1–3 june 2016: Conference proceedings. Part 1. – Novosibirsk, 2016. – P. 478–483.
4. Бегматов А.Х., Джайков Г.М. О восстановлении функции по сферическим средним // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2013. - №1. – С. 6 – 15.
5. Бегматов А.Х., Джайков Г.М. Линейная задача интегральной геометрии с гладкими весовыми функциями и возмущением// Владикавказский математический журнал. – 2015. - № 3 (17). – С. 14-22.
6. Begmatov A.H. Volterra-type integral geometry problems// Integral Methods in Science and Engineering, Houghton, MI 1998, USA, 10–13 august 1998: Conference proceedings. – Houghton, 1998. –P. 46-50.
7. Бегматов А.Х. О единственности решения задачи интегральной геометрии вольтерровского типа на плоскости// Доклады Академии Наук. – 2009. - № 4 (427). – С. 439-441.

, berezin14@mail.ru

*Рассмотрены основные этапы построения имитационной модели обобщенного МАР-потока событий. Проведены численные эксперименты.*

*Main stages of generalized MAP modeling are considered. Numerical experiments were performed with the model.*

В реальных ситуациях при исследовании систем массового обслуживания часто приходится сталкиваться с тем, что интенсивность входящих потоков меняется со временем, и при том случайно. Такие потоки получили название дважды стохастические потоки. Обобщенный МАР-поток событий относится к классу дважды стохастических потоков, у которых интенсивность есть кусочно-постоянный случайный процесс, и является хорошей математической моделью реальных потоков в информационных и телекоммуникационных сетях [1]. Одним из искажающих факторов при исследовании потоков выступает мертвое время регистрирующих приборов, порождаемое наступившим событием. События, возникшие в течение мертвого времени теряются.

В данной статье рассмотрен обобщенный МАР-поток событий, функционирующий в условиях непротдевающегося мертвого времени. Интенсивность потока есть кусочно-постоянный случайный процесс с двумя состояниями  $\lambda(t) = \lambda_1$  и  $\lambda(t) = \lambda_2$  ( $\lambda_1 > \lambda_2 \geq 0$ ). Длительность пребывания процесса  $\lambda(t)$  в  $i$ -м состоянии,  $i = 1, 2$  есть случайная величина с функцией распределения  $F_i = 1 - e^{-\lambda_i t}$ ,  $i = 1, 2$ . в момент окончания  $i$ -го состояния процесс  $\lambda(t)$  переходит с вероятностью  $P_1(\lambda_j | \lambda_i)$  в  $j$ -е состояние ( $i \neq j$ ) с наступлением события либо с вероятностью  $P_0(\lambda_j | \lambda_i)$  переходит в  $j$ -е состояние ( $i \neq j$ ) без наступления события, либо с вероятностью  $P_1(\lambda_i | \lambda_i)$  остается в  $i$ -м состоянии с наступлением события, либо с вероятностью  $P_0(\lambda_i | \lambda_i)$  остается в  $i$ -м состоянии без наступления события. При этом  $P_1(\lambda_j | \lambda_i) + P_0(\lambda_j | \lambda_i) + P_1(\lambda_i | \lambda_i) + P_0(\lambda_i | \lambda_i) = 1$ ,  $i, j = 1, 2$ ,  $i \neq j$ .

Задача состоит в построении имитационной модели описанного выше потока в условиях непротдевающегося мертвого времени. Данная

задача сводится к задаче генерации значений  $\tau$  случайной величины – времени пребывания процесса  $\lambda(t)$  в  $i$ -м состоянии,  $i = 1, 2$ . Длительность пребывания процесса  $\lambda(t)$  в  $i$ -м состоянии имеет функцию распределения  $F_i(\tau) = 1 - e^{-\lambda_i \tau}$ . В соответствии с методом обратных функций [2] обозначим  $F_i(\tau) = \gamma$ . Тогда имеем  $\gamma = 1 - e^{-\lambda_i \tau}$ , откуда находим  $\tau = -\ln(1 - \gamma)/\lambda_i$  – значение экспоненциально распределенной случайной величины – времени пребывания процесса  $\lambda(t)$  в  $i$ -м состоянии ( $i = 1, 2$ ), а  $\gamma$  есть значение случайной величины  $\Gamma$ , равномерно распределенной на отрезке  $(0, 1)$ . Так как длительность мертвого времени распределена равномерно на  $[a, b]$ , то для генерации ее значений, согласно свойствам равномерного распределения, будем иметь формулу  $T_{dead} = a + (b - a)\gamma$ .

Построение реализации потока происходит следующим образом:

1. Случайным образом выбирается состояние процесса  $\lambda(t)$ .
2. По формуле  $\tau_1 = -\ln(1 - \gamma)/\lambda_i$  генерируется время пребывания процесса  $\lambda(t)$  в состоянии  $i$ , по истечении которого наступает первое событие потока либо происходит переход в состояние  $j$ , учитывая вероятности  $P_1(\lambda_j | \lambda_i)$ ,  $P_0(\lambda_j | \lambda_i)$ ,  $P_1(\lambda_i | \lambda_i)$ ,  $P_0(\lambda_i | \lambda_i)$ , и генерируется мертвое время длительности  $T_{dead}$ ,  $k = k + 1$ ,  $T = T_{dead}$ ,  $t = t + \tau$ .
3. По формуле  $\tau = -\ln(1 - \gamma)/\lambda_i$  генерируется время пребывания процесса  $\lambda(t)$  в состоянии  $i$ , по истечении которого наступает событие потока либо происходит переход в состояние  $j$ , учитывая вероятности  $P_1(\lambda_j | \lambda_i)$ ,  $P_0(\lambda_j | \lambda_i)$ ,  $P_1(\lambda_i | \lambda_i)$ ,  $P_0(\lambda_i | \lambda_i)$ ,  $t = t + \tau$ .
4. Если  $T - \tau < 0$ , то алгоритм переходит на шаг 3,  $k = k + 1$ ,  $T = T_{dead}$ . Иначе  $T = T - \tau$ , переход на шаг 3.
5. Шаги 3-4 повторяются пока текущее время  $t < t_{mod}$ , где  $t_{mod}$  – время моделирования.
6. Вывод результатов на экран.

Имитационная модель разработана на языке C++ в среде Visual Studio. С моделью был проведен ряд численных экспериментов и получены численные результаты.

Литература:

1. Дудин А.Н., Клименок В.Н. Системы массового обслуживания с коррелированными потоками. Минск : Изд-во БГУ, 2000 – 175 с.
2. Соболь И.М. Численные методы Монте-Карло. – М.: Наука, 1973. – 311 с.

, blin\_mary@mail.ru

*В данной работе предлагается принципиально новый подход к актуальной задаче исследования устойчивости течений жидкости при помощи алгоритма дихотомии матричного спектра. Модификация исходного алгоритма для комплекснозначных матриц, а также матриц с большой нормой, позволила повторить известные результаты для плоско-параллельного течения Пуазейля. Результаты экспериментов показали перспективность такого подхода для исследования условий формирования турбулентности и в более сложных течениях.*

*In this paper, conceptually new approach is offered to an actual problem of studying the stability of fluid flows using the algorithm dichotomy of a matrix spectrum. Variation of the initial algorithm for complex matrices and matrices with a large norm allowed to repeat the known results for the plane-parallel Poiseuille flow. The experimental results showed the prospects of this approach in the study of conditions of formation of turbulence in more complex flows.*

Исследование устойчивости - одна из наиболее масштабных и актуальных задач современных физики, инженерии и математики. С этой целью применяют экспериментальные, теоретические, а также численные методы. Данная работа посвящена апробации метода дихотомии матричного спектра при изучении процесса формирования турбулентного течения.

Для решения задач устойчивости в работах академика С.К. Годунова и его учеников был предложен метод дихотомии матричного спектра, позволяющий с гарантированной точностью исследовать спектральные свойства несимметричных матриц [1]. Но исходная версия алгоритма дихотомии не подходит для работы с матрицами с большой нормой, которые встречаются в практических приложениях. Специальным образом модифицированный алгоритм дихотомии для комплекснозначных матриц с большой нормой был реализован в среде MatLab и применен к известной задаче устойчивости течения несжимаемой жидкости между двумя плоскими пластинами (течение Пуазейля) [2]. Проведены спектральный анализ дифференциальных операторов, зависящих от параметра, при помощи одномерных портретов и численные исследования условий формирования

турбулентных течений в зависимости от числа Рейнольдса. Удалось повторить классические результаты, в частности, определить минимальное число Рейнольдса, при котором появляется неустойчивость по времени плоского течения Пуазейля, и показать, что с увеличением числа Рейнольдса неустойчивость в течениях развивается. Результаты расчетов показали, что метод дихотомии весьма эффективен при изучении формирования турбулентности в течениях.

Литература:

1. Годунов С.К. Современные аспекты линейной алгебры. // Новосибирск, Научная книга, 1997 – 416 с.
2. Бойко А.В., Грек Г.Р., Довгаль А.В., Козлов В.В. Физические механизмы перехода к турбулентности в открытых течениях // М.: Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Институт компьютерных исследований, 2006 – 304с.

• .  
— . . . „ . . . ,  
. . . . ,  
**Bobrova.r@inbox.ru**

*Мотивация является главной движущей силой в поведении и деятельности человека, в том числе, и в процессе формирования будущего специалиста – выпускника вуза. Авторами статьи показан один из подходов решения задачи исследования мотивации студентов к учебной деятельности в вузе, которое проводится в комплексе с исследованиями по оценке успешности адаптации студентов к вузовской среде.*

*Motivation is the driving force in human behavior and activity, including, and in the formation of future specialists – graduates of the university. The authors of the article shows one approach for solving the problem of students to study the motivation of educational activity of the university, which is conducted in conjunction with research to assess the success of first-year students to adapt to the college environment.*

Успех учебной деятельности студентов примерно на 70% зависит от мотивации и 30% от способностей. Следовательно, именно комплекс мотивов побуждает их успешно учиться, от степени его выраженности зависит академическая успеваемость и другие показатели учебной

работы. Поиск информативности каждого признака (психологические тесты) позволит априори узнать, как студент сдаст первую сессию, и если предполагается, что оценки будут неудовлетворительными, с помощью психолога мотивировать студента, найти к нему правильный подход, избегая плохих оценок и проблем в учебе[1].

Определение мотивационного профиля студентов – тест, апробированный и разработанный специально для того, чтобы выявлять факторы мотивации, которые высоко оцениваются студентом, а также те факторы, которым он придает мало значения, как потенциальным источникам удовлетворения выполняемой работой. Он позволяет выявить потребности и стремления студента, и, тем самым получить некоторое представление о его мотивационных факторах. Исходные данные представляли из себя значения показателей мотивационной сферы для студентов: хорошо успевающие студенты (группа А1); плохо успевающие студенты (группа А2). Обучающая выборка включает показатели мотивационной сферы 100 студентов Института кибернетики ТПУ. По результатам анализа мотивационных показателей будет принято решение об успешности адаптации студентов к учебной деятельности.

На основе результатов компьютерного тестирования автоматически образуется матрица ответов. Также в программе предусмотрена возможность формирования матрицы ответов по результатам бланкового тестирования. Включение эмоционального профиля в общий мотивационный профиль личности диктуется в научном плане внутренней общностью мотивации и эмоций, а в практическом – значительной диагностической информацией [2].

Информативность признака зависит от того, насколько он помогает дифференцировать интересующее нас состояние – если признак одинаково часто появляется в сравниваемых состояниях, то он наверняка мало поможет диагностике и прогнозированию. Признак тем информативней, чем больше расстояние между реализациями случайных величин. В качестве таких расстояний наибольшее распространение получила информационная мера Кульбака. [3].

Для измерения количества информации Н. Винер и К. Шенон в 1948 г. предложили логарифмические меры количества информации. К классу подобных мер относится введенная Jeffreus в 1964 г. и изученная Кульбаком мера  $J(1,2)$  расхождения между статистическими распределениями 1 и 2, имеющая для дискретных распределений вид:

$$J(x_i | A_1, x_j | A_2) = \sum_j \lg \frac{P(x_{ij} | A_1)}{P(x_{ij} | A_2)} [P(x_{ij} | A_1) - P(x_{ij} | A_2)],$$

где  $A_1, A_2$  – классы состояний;  $i$  – номер признака;  $j$  – номер диапазона  $i$ -го признака;  $P(x_{ij} | A_k)$  – вероятность попадания объекта, принадлежащего к классу  $A_k$ , в диапазон  $j$  признака  $i$ . Этот критерий позволяет делать выводы о различиях эмпирических образов без специальных ограничений на распределения случайных величин, образующих эмпирический образ.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ, проект 14-06-00026.

Литература:

1. Бакшаева Н.А., Вербицкий А.А. Психология мотивации студентов. Учебное пособие. – М. Логос, 2006. – 184 с.
2. Марухина О.В., Берестнева Е.В., Мокина Е.Е. Разработка информационной технологии оценки адаптации иностранных студентов к научно-исследовательской среде вуза // Тр. конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям. Изд-во ФизМатЛит, Москва, 2014 - Т.2. – С. 188-193.
3. Гублер Е.В. Вычислительные методы распознавания патологических процессов. – Л.: Медицина, 1970. – 319 с.

• •  
– . . . „ . . . ,  
. , scientistgp@gmail.com

В статье рассматривается проблема планово-предупредительных ремонтных работ локомотивов серии ТЭМ2. На основании книги повреждений и неисправностей (форма ТУ-29) определены основные узлы, контроль которых будет целесообразным.

The article deals with the problem of preventive maintenance work TEM2 series locomotives. Based on the book of damage and serviceability (form TU-29), the basic control of the reins of which will be appropriate.

Для поддержания работоспособности локомотивов на определенном уровне служит система планово-предупредительных ремонтов, установленная распоряжением ОАО «РЖД» № 3р от 17 января 2005 г. Система планово-предупредительных ремонтов определяет объем, состав и периодичность проводимых ремонтов и соответствующих

работ, при таком подходе крайне сложно учесть все многообразие факторов влияющих на техническое состояние. Так как многие из этих факторов носят случайный характер, по-разному проявляют себя в различных эксплуатационных ситуациях и при разных климатических условиях. Вывод: данные методы определения периодичности и объема планово-предупредительных ремонтов нуждаются в дальнейшем совершенствовании в направлении более тщательного учета фактического технического состояния оборудования [1]. Такое совершенствование можно обеспечить внедрением интегрированных диагностических систем. Одной из задача создание такой системы является определение параметров контроля, которые наиболее полно будут отражать техническое состояние контролируемого объекта.

По результатам анализа исходных данных, представленных в книге повреждений и неисправностей локомотивов, мотор-вагонного подвижного состава и их оборудования (форма ТУ-29) за 2012 г. сформированы графики распределения отказов оборудования локомотивов приписки ТЧЭ Тында по различным классификациям. Анализ отказов проводился за период с апреля по июнь 2012 г.

На рисунке 1 показано относительное количество отказов узлов тепловозов, из диаграммы видно, что наибольшее количество отказов у первых 2 столбцов. Первый столбец тяговые электродвигатели – 61 отказ, что составляет 17 % от общего количества отказов, и второй столбец цилиндкопоршневая группа – 43 отказа, что составляет 12 % от общего количества отказов.

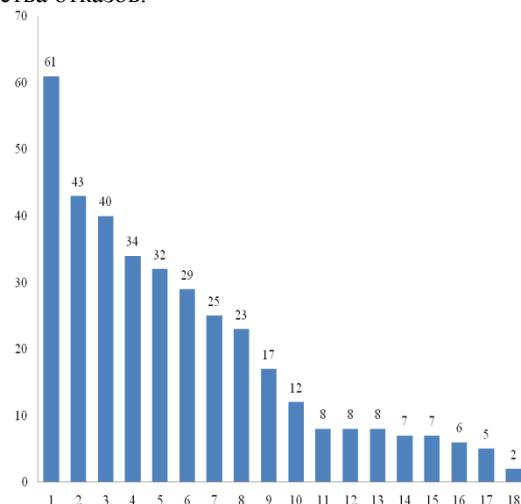


Рис. 1. Отказы по элементам тепловозов серии ТЭМ2

На основании изложенного для повышения безотказности [2] основное внимание необходимо обратить на контроль технического состояния, проблемы организации и оснащения технологических процессов тяговых электродвигателей тепловозов серии ТЭМ2.

Литература:

1. Горский, А. В. Ремонт – только по результатам диагностики / А. В. Горский, А. А. Воробьев, Б. М. Куанышев // Локомотив. – 1998. – № 12.
2. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике основные понятия. Термины и определения – Введ. 1990-01-07. – М. : Изд-во стандартов 1990.

, . . . , . . .  
« » , « » ,  
., - , ivgogolev@inbox.ru

Выход нормальных уравнений линейной оценки параметров стандартно выглядит как результат поиска минимума квадратичной формы, что, собственно, и дало название методу. Статистические свойства оценки – ее эффективность, выражения для дисперсий компонент – выводятся и доказываются как следствия[1,2,3]. В работе предъявляется вывод, не связанный с обращением к какой-либо метрике, и основанный только напрямом требованием эффективности оценки.

*Minimization of quadratic form in Mean-square estimation (MSE) leads to linear equation system for parameter estimation. Efficiency of MSE and covariation matrix form usually are derived as minimization consequence [1,2,3]. Derivation of normal linear equation system from only estimation efficiency condition without using any metrics is proposed in this thesis.*

Пусть результаты измерений представляют собой  $n$  величин  $y_i$ , причем каждая из них линейно зависит от  $m < n$  параметров  $\theta_1 \dots \theta_m$ . В измерениях содержатся случайные ошибки  $\epsilon$ , так что:

$$y_i = a_{i1}\theta_1 + a_{i2}\theta_2 + \dots + a_{im}\theta_m + \epsilon_i$$

Предполагается, что ошибки измерений подчиняются совместному распределению с нулевым средним, а все элементы ковариационной матрицы измерений  $\mathbf{D}$  конечны. Никаких иных ограничений на вид распределения ошибок не накладывается.

Модель измерений (в матричной форме) удовлетворяет условиям:

1.  $\mathbf{y} = \mathbf{A}\boldsymbol{\theta}$ ;  $\mathbf{y} = \mathbf{y}_0 + \mathbf{E}$ .
2. Линейность оценки.
3. Несмешенность оценки.

Матрица  $\mathbf{A}$  известна, необходимо получить линейную несмешенную оценку параметров  $\boldsymbol{\theta}$

$$\hat{\boldsymbol{\theta}} = \mathbf{Ly}, \quad \hat{\boldsymbol{\theta}}_0 = \mathbf{Ly}_0 = \mathbf{LA}\boldsymbol{\theta}_0$$

Определим матрицу  $\mathbf{L}$  из условия минимума дисперсии оценки. Из условия несмешенности следует:

$$\mathbf{LA} = \mathbf{I}$$

Т.к.  $\mathbf{D}(\boldsymbol{\theta}) = \mathbf{LDL}^T$ , то необходимое условие минимума  $\mathbf{D}(\boldsymbol{\theta})$

$$\frac{\partial}{\partial l_{\rho\phi}} \{\mathbf{LDL}^T - \lambda[\mathbf{LA} - \mathbf{I}]\}_{mn} = 0.$$

Диагональный по  $m, n$  элемент этого уравнения выглядит так:

$$\delta_{mp} \sum_k^N D_{\phi k} l_{mk} + \sum_j^N l_{mj} D_{j\phi} \delta_{m\rho} = \lambda_{m\rho} A_{\phi m}.$$

Суммируя обе части по  $m$  и умножив справа на  $\mathbf{D}^{-1}$ , получим

$$\mathbf{L} = \frac{1}{2} \lambda^T \mathbf{A}^T \mathbf{D}^{-1}.$$

Величины  $\lambda$  определим из условия несмешенности

$$\lambda = 2[\mathbf{A}^T \mathbf{D}^{-1} \mathbf{A}]^{-1} = \lambda^T.$$

Таким образом,

$$\mathbf{L} = [\mathbf{A}^T \mathbf{D}^{-1} \mathbf{A}]^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{D}^{-1}$$

и оценка параметра  $\boldsymbol{\theta}$  запишется в виде:

$$\hat{\boldsymbol{\theta}} = [\mathbf{A}^T \mathbf{D}^{-1} \mathbf{A}]^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{D}^{-1} \mathbf{y}$$

Полученная оценка совпадает с оценкой МНК, приведенной в многочисленных источниках [1-3], но в данном случае эта оценка получена на основе простейших предъявляемых к ней требований. Естественно, что выражение для ее дисперсии

$$\mathbf{D}(\boldsymbol{\theta}) = [\mathbf{A}^T \mathbf{D}^{-1} \mathbf{A}]^{-1}$$

также совпадает с выражением, полученным в МНК.

Вывод нормальных уравнений МНК без обращения к аргументам, связанным с метрикой.

Литература:

1. Hamilton W. Statistics in physical science, The Ronald Press Company, New York, 1964. – 230 с.
2. Эльяшберг П.Э. Определение движения по результатам измерений. – М.: Наука, 1976. – 416 с.
3. Беклемишев Д.В. Дополнительные главы линейной алгебры. – М.: Наука, 1983. – 337 с.

• .  
— . . . ,

• . . . , e.guzha@ya.ru

*Решена задача совместной оптимизации параметров расписания движения самолетов (РДС) в узловом аэропорту и пропускной способности его производственных комплексов*

*The joint optimization problem of flight timetable and production complex capacity in the hub airport is solved*

Выбор аэропортом узловой модели функционирования приводит к необходимости одновременного обслуживания большого числа воздушных судов в течение непродолжительных интервалов времени («волн прилетов-вылетов») [1]. Сокращение длительности «волн», приводящее к уменьшению затрат наземного времени, делает хаб более привлекательным для трансферных пассажиров, обеспечивая рост доходов хаба вследствие повышения уровня пассажиропотока. С другой стороны, такое сокращение продолжительности «волн» требует увеличения численности и производительности аэропортовых средств обслуживания перевозок, что является причиной роста затрат на развитие и эксплуатацию аэропорта. Поскольку на длительность «волны» оказывает влияние как параметры РДС в аэропорту, так и пропускная способность его комплексов, то возникает задача совместной оптимизации численности и производительности ресурсов узлового аэропорта и его РДС.

Задача решается при заданных численности и технико-экономических характеристиках авиапарка хабообразующей авиакомпании и известном спросе на трансферные авиаперевозки через хаб, под которым понимается численность лиц, имеющих потребность и

возможности совершить поездку из одного периферийного аэропорта в другой и готовых при этом к перевозке с пересадкой в хабе.

В качестве критерия оптимальности используется максимум суммарной прибыли, определяемой как разность доходов узлового аэропорта, полученных при обслуживании трансферных пассажиров ( $D$ ), и затрат на повышение пропускной способности системы обслуживания перевозок ( $Z_{amp}$ ):

$$C = D - Z_{amp} \rightarrow \max$$

Величина  $Z_{amp}$  рассматривается как функция числа средств обслуживания ( $N_{cp}$ ) и их пропускной способности ( $G$ ):

$$Z_{amp} = \varphi(N_{cp}, G).$$

Доходы определяются количеством пассажиров, воспользовавшихся услугами хаба, несмотря на необходимость ожидания в нем стыковочного рейса. Поскольку время ожидания зависит от РДС ( $R$ ), а последнее формируется с учетом пропускной способности системы наземного обслуживания, то справедлива зависимость:

$$D = \chi(R, N_{cp}, G).$$

Таким образом, критерий  $C$  рассматривается как функция числа средств обслуживания перевозки, их пропускной способности и РДС:

$$(N_{cp}, G, R)^{opt} = \arg \max_{N_{cp}, G, R} [\varphi(N_{cp}, G) - \chi(R, N_{cp}, G)].$$

Для решения рассмотренной задачи разработан программный комплекс, который реализован на базе среды программирования Lazarus.

В результате решения задачи для исходных данных модельного примера получено оптимальное расписание движения 10 самолетов в рамках одной «волны прилетов-вылетов», а также потребное количество и производительность средств обслуживания, необходимые для обеспечения безопасности и регулярности перевозок заданного количества трансферных пассажиров.

Сравнительный анализ результатов модельного примера свидетельствует о повышении благодаря оптимизации на 21% экономического эффекта от трансферных перевозок, что подтверждает правомерность рассмотренной постановки оптимизационной задачи и

эффективность разработанного для ее решения программного обеспечения.

Литература:

1. Романенко В.А. Моделирование производственных процессов узловых аэропортов. – Саарбрюкен: «LAP LAMBERT Academic Publishing», 2012. – 283 с.

• •  
– . . - . . ,                    . .  
• , **svetamira\_davydova@mail.ru** ,

Тема этой работы возникла из необходимости усовершенствовать существующую модель для сосудов цилиндрической формы, реализованную на платформе BioUML. Была получена система уравнений одномерной модели гемодинамики для сосудов конической формы, а также проведена ее программная реализация. В ходе экспериментов установлено, что сужение не влияет на скорость пульсовой волны, но при этом позволяет избежать ситуации, когда волны, отраженные от стыков цилиндрических сосудов, значительно искажают форму пульсовой волны. Также проверены условия минимизации отражений от терминальных артерий. Актуальность полученных результатов обусловлена важностью моделирования профиля пульсовой волны и изучения условий его формирования, вследствие его высокой диагностической информативности.

*The theme of this work arose from the need to improve the existing model for cylindrical vascular implemented on the platform BioUML. Equations system of hemodynamics one-dimensional model for vascular with conical shape was obtained, and its software implementation was held. The experiments revealed that the restriction does not affect the pulse wave velocity, the restriction avoids the situation where the waves reflected from the cylindrical vessels joints significantly distort the shape of the pulse wave. Also the terms of minimizing reflections from the terminal arteries were checked. The relevance of the results is due to the importance of modeling the profile of the pulse wave and the study of the conditions of its formation, because of its high diagnostic informative.*

Математическое моделирование в биологии и медицине приобретает всё большие масштабы. В частности, множество работ посвящено моделированию сердечно-сосудистой системы. При моделировании артериальной системы человека чаще всего используется одномерная модель гемодинамики. При этом форма сосудов считается

цилиндрической [1], хотя ряд крупных сосудов, например аорта, имеет коническую форму. В данной работе проведена адаптация одномерной модели гемодинамики для сосудов конической формы, а именно, внесены соответствующие изменения в уравнения математической модели и проведён ряд численных экспериментов.

Наиболее интересные результаты связаны с распространением пульсовой волны. Оказалось, что скорости пульсовой волны в коническом, цилиндрическом сосудах, а также рассчитанная по формуле Моенса—Кортевега приблизительно равны. Также проведено исследование влияния коэффициента фильтрации на формирование отраженной волны и отражения пульсовой волны от стыка двух цилиндрических сосудов, которое показало, что использование конических сосудов, а также специального коэффициента фильтрации на концах терминальных сосудов приводит к сглаживанию формы пульсовой волны.

Полученная модель для сосудов конической формы может быть рекомендована для усовершенствования комплексной математической модели сердечно-сосудистой системы, реализованной на платформе BioUML (совместная работа ИМ СО РАН и КТИ ВТ СО РАН) [2], в частности, для более адекватного моделирования профиля пульсовой волны.

#### Литература:

1. Кунделеев А.Ю., Кантор Б.Я. Распространение волн давления в сужающихся цилиндрических сосудах с жидкостью // Проблемы машиностроения. – 2000. – Т. 3, № 3-4.– С. 118–122.
2. Персонализация параметров и валидация модели сердечно-сосудистой системы человека / И.Н. Киселев, Э.А. Бибердорф, В.И. Баранов, Т.Г. Комлягина, В.Н. Мельников, С.Ю. Суворова, С.Г. Кривоцеков, Ф.А. Колпаков // Математическая биология и биоинформатика. – 2015. – Т. 10, № 2. – С. 526–547.

, . , valera\_anime@mail.ru

В качестве актива берём внутридневные приращения валютных пар и фьючерсы на эти валютные пары. Для каждого из периодов были рассчитаны соответствующие внутридневные приращения, затем была вычислена реализованная вариация и показатель квадратичной вариации, а вклад в полную вариацию был оценен показателем относительной величины скачка. Далее мы находим количество дней, в которых наблюдались значимые всплески цен активов для каждого из периодов. В данной работе концентрируется внимание на популярной BN-S (Barndorff-Nielsen and Shephard) методологии, которая является наиболее развитой и эффективной.

*As an asset take the value of currency pairs and futures on these pairs. Next, we calculated measures of variation and square variation, allows us to estimate jumps in asset prices during the day at different intervals. And how do we define and test statistical hypotheses about the presence of at least one significant jump during the day and make a statistical test of the hypothesis about the presence of jumps. We find the number of days with premium features and determined the frequency distribution of magnitude jumps and the number of issuers in the considered time intervals. In this work the attention is focused on the popular bn-s (Barndorff-Nielsen and Shephard) the methodology, which is the most developed and effective.*

Данная работа исследует суточные приращения валютных пар EUR/USD, USD/RUB, RUB/EUR и фьючерсов на данные валютные пары с разными сроками исполнения: 15 марта и 15 июня, за период с 1 января 2016 года по 15 июня 2016 года с временными интервалами в 10 минут, 30 минут и 60 минут. Для каждого из периодов были рассчитаны соответствующие внутридневные приращения по формуле (1),

$$r_{i,t,j} = p_i(t-1+j/M) - p_i(t-1+(j-1)/M), j=1,2,\dots,M, \quad (1)$$

затем была вычислена реализованная вариация по формуле (2)

$$RV_{i,t} = \sum_{j=1}^M r_{i,t,j}^2 \quad (2)$$

и вычислен показатель квадратичной вариации по формуле (3),

$$BV_{i,t} = \mu_1^{-2} \left( \frac{M}{M-1} \right) \sum_{j=2}^M |r_{i,t,j}| |r_{i,t,j-1}|, \quad (3)$$

где  $\mu_1 = \sqrt{2/\pi} \approx 0.7979$ .

Таким образом, вклад в полную вариацию может быть оценен показателем относительного скачка и вычислен по формуле (4).

$$RJ_{i,t} = \frac{RV_{i,t} - BV_{i,t}}{RV_{i,t}}. \quad (4)$$

Выдвигая статистическую гипотезу о наличии хотя бы 1 скачка и принимая во внимание нормальный закон распределения z-статистики, было оценено количество дней, в которых наблюдались значимые всплески цен активов. Тестовая статистика рассчитывалась по формулам (5), (6). [1]

$$z_{i,t} = RJ_{i,t} \sqrt{(v_{bb} - v_{qq}) \frac{1}{M} \max \left( 1, \frac{TP_{i,t}}{BV_{i,t}^2} \right)}, \quad (5)$$

$$\text{где } v_{qq} = 2, v_{bb} = \left( \frac{\pi}{2} \right)^2 + \pi - 3 \approx 2.6090,$$

$$TP_{i,t} = \mu_{4/3}^{-3} M \left( \frac{M}{M-2} \right) \sum_{j=3}^M \left| r_{i,t,j} \right|^{4/3} \left| r_{i,t,j-1} \right|^{4/3} \left| r_{i,t,j-2} \right|^{4/3}, \quad (6)$$

$$\mu_{4/3} = 2^{2/3} \Gamma\left(\frac{7}{6}\right) / \Gamma\left(\frac{1}{2}\right) \approx 0.8309.$$

В таблице 1 вы можете видеть количество дней, в которых наблюдались значимые всплески цен активов для каждого из периодов.

Таблица 1 - Количество дней со значимыми всплесками цен активов

	10 минут	30 минут	60 минут
Доллар/Рубль	100	63	24
SiH6	7	5	2
SiM6	24	22	9
Евро/Доллар	33	25	13
EdH6	10	7	6
EdM6	30	14	11
Рубль/Евро	86	33	23
EuH6	6	3	1
EuM6	18	17	11

По полученным данным мы видим, что каждый рассмотренный эмитент обладает арбитражной возможностью, следовательно, найдем наиболее выгодный актив. По количеству скачков видно, что наиболее выгодно вкладывать деньги в Доллар/Рубль, а наименее во фьючерс на валютную пару Рубль/Евро со сроком исполнения 15 марта 2016 года.

Литература:

1. Tim Bollerslev, Tzuo Hann Law, George Tauchen. Risk, jumps, and diversification. — Journal of Econometrics 144 (2008). – P. 234-256.

, gafur\_djaykov@mail.ru

*Изучается задача определения внутренней структуры биологического объекта с помощью радиофармпрепаратов. Представлена математическая модель соответствующей задачи обращения радиометрических данных. Задача сводится к решению интегрального уравнения Вольтерра I рода и решается с помощью метода регуляризации Тихонова.*

*We study the problem of determining the internal structure of a biological object by means of radiopharmaceuticals. Mathematical model of the corresponding problem for the treatment of radiometric data is presented. The problem is reduced to Volterra integral equation of the first kind and solved by using Tikhonov regularization method.*

В последние годы множество работ посвящены математическому и компьютерному моделированию процессов радионуклидной диагностики и разработке программного комплекса для обработки данных радионуклидных исследований. Основное внимание уделяется динамическим процессам применительно к ядерной медицине. Основными аппаратными средствами ядерной медицины являются гамма-камеры и однофотонные эмиссионные компьютерные томографы (ОФЭКТ), позитронно-эмиссионные томографы (ПЭТ) и гибридные аппараты (ОФЭКТ/компьютерный томограф (КТ), ПЭТ/КТ), ускорители заряженных частиц [1].

В настоящей работе рассматривается задача медицинской диагностики по данным радиометрических наблюдений с помощью радиофармпрепаратов. Разработана математическая модель определения внутренней структуры биологических тканей на основе интегральных характеристик (см. также [2, 3]). Основная задача исследования сводится к решению интегрального уравнения Вольтерра I рода и решается на основе метода регуляризации Тихонова. Подобные задачи рассматривались в работах [4, 5].

Введем обозначения:

$$(x, y) \in R^2, \quad (\xi, \eta) \in R^2, \quad \lambda \in R^1, \quad \mu \in R^1,$$
$$L_H = \{ (x, y) : x \in R^1, y \in [0, H], H < \infty \}.$$

В полосе  $L_H$  рассмотрим семейство ломаных, которые определяются соотношениями

$$\Gamma(x, y) = \{ (\xi, \eta) : x - \xi = y - \eta, 0 \leq y \leq H \}$$

. Восстановить функцию двух переменных  $u(x, y)$ , если в полосе  $L_H$  известны интегралы от нее по кривым семейства  $\{\Gamma(x, y)\}$  с весовой функции  $g(x, \xi)$ :

$$\int_{\Gamma(x, y)} u(x, y) d\xi = f(x, y).$$

В работе получена явная формула обращения, доказана теорема единственности и получены оценки устойчивости ее решения.

На основе полученной формулы обращения составлен алгоритм численного восстановление искомой функции и программа решения задачи.

Литература:

1. Charles L. Epstein. The mathematics of medical imaging. – Philadelphia . 2001. – 660 p.
2. Бегматов А.Х., Джайков Г.М. О восстановлении функции по сферическим средним // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2013. - №1. – С. 6 – 15.
3. Begmatov A.H. Inversion of X-ray Transforms with Incomplete in n-Dimensional Space// International forum on strategic technology, IFOST 2016, Novosibirsk, Russia, 1–3 june 2016: Conference proceedings. – Novosibirsk, 2016. – P. 99–101.
4. Begmatov A.H., Djaykov G.M. Numerical Recovery of Function in a Strip from Given Integral Data on Linear Manifolds// International forum on strategic technology, IFOST 2016, Novosibirsk, Russia, 1–3 june 2016: Conference proceedings. Part 1. – Novosibirsk, 2016. – P. 478–483.

5. Бегматов А.Х., Джайков Г.М. Линейная задача интегральной геометрии с гладкими весовыми функциями и возмущением // Владикавказский математический журнал. – 2015. - № 3 (17). – С. 14-22.

• • . . . , . . . .

, annaivashchenko06@gmail.com

Авторегрессионные модели широко используются для описания стационарных случайных процессов. Представляет интерес получения оценок неизвестных параметров таких моделей. В работе проведено исследование средней асимптотической длительности последовательной процедуры оценивания. Результатами численного моделирования подтверждено, что использование последовательной процедуры позволяет получить заданную среднеквадратическую точность путем выбора порога процедуры.

*AR-models are widely used to describe the stationary random processes. It is interesting to estimate unknown parameters of AR-models. This article is researched the average asymptotic duration of a sequential estimation procedure and provided a numerical study the results of which confirmed, that the using of sequential procedure allows to obtain a predetermined mean-square accuracy by selecting the threshold of procedure.*

В задачах обработки временных рядов используются авторегрессионные модели, которые описывают стационарные случайные процессы. Зачастую параметры таких моделей неизвестны, поэтому требуется оценить их перед использованием модели.

В практических задачах имеется ограниченное доступное число шагов наблюдений. При этом потери существенно нелинейно растут с увеличением количества шагов наблюдений [1]. Также измеряемый параметр часто является случайным процессом. В связи с этим успешно применяется последовательный подход к оцениванию случайных процессов, использующий правило остановки. Последовательный метод оценивания параметров позволяет получить оценки с гарантированным качеством в среднеквадратическом смысле за конечное время, определяющееся правилом остановки, построенным по наблюдаемому процессу [2].

Рассматривается процесс  $x_t$ , заданный стохастическим разностным уравнением

$$X_i = \lambda X_{i-1} + \sigma \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots,$$

где  $X_0 = 0$ ,  $\varepsilon_i$  – независимые одинаково распределенные случайные величины.  $E\varepsilon_i = 0$ ,  $Var\varepsilon_i = \sigma^2 < +\infty$ .

Рассматривается задача исследования средней асимптотической длительности последовательной процедуры оценивания. Вводится момент остановки

$$t_A = \inf \left\{ n \geq m_A : n \geq A^{\frac{1}{2}} \hat{\sigma}_n^2 \right\}$$

Здесь  $m_A$  – заранее заданный объем выборки. Заметим, что момент остановки  $t_A$  зависит от цены наблюдения  $A = \frac{1}{c}$  и оценки

$$\hat{\sigma}_n^2 = n^{-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{\lambda}_n x_{i-1})^2 [3].$$

**Теорема:** Пусть  $s > 2$ , такое, что выполняется  $E|\varepsilon_1|^{4s} < \infty$ ,  $E|x_0|^{4s} < \infty$  и  $E \left| \frac{1}{\varepsilon_1^2 + \dots + \varepsilon_M^2} \right|^{2s} < \infty$ , где  $M$  – некоторое положительное целое. Пусть также для  $m_A$  выполняется неравенство  $A^{\frac{1}{2(1+\mu)}} \leq m_A = o(A^{\frac{1}{2}})$ , где  $\mu \in (0, \frac{s-2}{2})$ . Тогда

$$\frac{E(t_A)}{n_0} \rightarrow 1, A \rightarrow \infty,$$

т.е. имеет место асимптотическая эффективность [3].

Проведено численное моделирование для подтверждения утверждения теоремы, в ходе которого подтверждено, что использование последовательной процедуры позволяет получить заданную среднеквадратическую точность путем выбора порога процедуры.

Литература:

1. Айвазян С.А. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное изд. / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
2. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов: пер. с англ. / Т. Андерсон; под ред. Ю.К. Беляева – М.: Изд. Мир, 1976. – 755 с.
3. Sriram T.N. Sequential Estimation of the Autoregressive Parameter in a First-Order Autoregressive Process / T.N. Sriram. – Sequential Analysis. – 1988. – V. 7, No. 1. – P. 53-74.

, . , inelyas0810@mail.ru

*В статье представлен подход к проектированию маховика как основного элемента расчетно-конструкторской модели гиродина.*

*The article presents an approach to the design of a flywheel as a basic element of the settlement and the design model gyrodyne.*

Расчетно-конструкторская модель гиродина – это комплекс средств проектирования, включающий в себя параметрическую 3D модель конструкции гиродина, позволяющую подбирать различные варианты конструкции его составных частей, и средства расчета комплекса эксплуатационных характеристик [1].

Основным элементом конструкции гиродина является маховик.

Параметры проектируемого гиродина: кинетический момент – 5 Н·м·с, масса – 7 кг, потребляемая мощность – максимум 20 Вт, высота обода – 40 мм, скорость – 10000 об/мин.

Наиболее эффективным для такого рода конструкций является проектирование с использованием 3D моделирования.

В статье [2] представлен расчет момента инерции и габаритных размеров маховика. Момент инерции составил  $0,048 \text{ кг}/\text{м}^2$ . Наружный радиус маховика – 70 мм. По полученным данным была построена параметрическая 3D модель маховика в CAD-системе T-Flex CAD 2D/3D. 3D модель маховика представлена на рисунке 1.

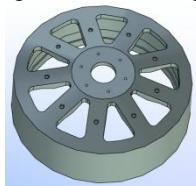


Рисунок 1 – 3D модель маховика

В параметрической 3D модели внутренний радиус маховика зависит от наружного. Это значит, что при изменении значения наружного радиуса маховика 3D модель перестраивается и одновременно пересчитывается значение внутреннего радиуса по формуле:

$$r = 0,07 \cdot \sqrt[4]{\frac{0,0048H \cdot m \cdot c^2}{0,5 \cdot 3,14 \cdot 7800 \frac{\kappa_2}{m^3} \cdot 0,04 \cdot m \cdot 0,07^2 \cdot m}} = 0,061 \text{ м}$$

На рисунке 2 представлено окно , где внутренний радиус маховика пересчитывается в зависимости от наружного.

	<b>h</b>	40	40	Высота обода маховика
	<b>m</b>	1.36116	1.36116	Масса маховика
	<b>n</b>	1047	1047	Скорость вращения маховика
	<b>r</b>	$R^*(1-2^*J)/(p^*\gamma^*h/1000)^*(R/10...$	61.4519906519	Внутренний радиус маховика
	<b>y</b>	7800	7800	Удельная масса стали
	<b>p</b>	3.14	3.14	Пи

Рисунок 2 – Окно

Одним из важнейших эксплуатационных параметров маховика является критическая угловая скорость вращения, зависящая от геометрии маховика [3]. При изменении наружного радиуса маховика критическая угловая скорость также пересчитывается.

На рисунке 3 представлен фрагмент окна T-Flex CAD с расчетом критической угловой скорости вращения маховика.

A	$((a^*b^*2)/(D^*E^*1)) - b^*3/(D^*E^*2)$	0	Альфа
B	$((a^*3^*E^*1) - b^*)/E^*1^2$	0	Бета
C	$((a^*b^*)/(D^*E^*1)) - b^*/(D^*E^*2)$	0	Гамма
E	$Z^*10^*11$	200000000000	Модуль упругости 1 рода для стали
H	5	5	Кинетический момент
J	$H/h$	0.0047755492	Момент инерции маховика
J1	$0.05^*10^*4^*ds^*4$	5248.8	Момент инерции сечения вала между опорами
J2	$0.05^*10^*4^*ds^*4$	5248.8	Момент инерции сечения вала консоли
R	70	70	Наружный радиус маховика
? S	$(1/2^*V^*h^*B^*J)$	0	
S1	$(1/4^*V^*h^*B^*) - h^*J^*(A^*B^*C^*2)$	0	
S2	$sqt(S1)$	0.000000724	
S3	$(1/2^*V^*h^*B^*)$	0	
S4	$1/b^*qt(S3-S2))$	1175.2695745167	$c^{-1}$
? V	549.55	11223.824436634	об/мин
a	33.5	33.5	Расстояние между опорами
b	10.5	10.5	Длина консоли
de	0	0	Внутренний диаметр вала
dh	18	18	Наружный диаметр вала
h	40	40	Высота обода маховика

Рисунок 3 – Расчет критической угловой скорости

### Литература:

- Индыгашева Н.С. Расчетно-конструкторская модель гиродина // конференция «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность». В 3 т. Т. 2 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 350 с.
- Индыгашева Н.С. Проектирование маховика гиродина // IV Все-российский молодежный Форум с международным участием «Инженерия для освоения Космоса».
- Дмитриев В.С., Костюченко Т.Г., Гладышев Г.Н. Электромеханические исполнительные органы систем ориентации космических аппаратов. Часть 1: учебное пособие. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – 208 с.

, obivan5enta@gmail.com

*Анализ чувствительности дифрактометрического эксперимента проведен для тетрагональной модели искажения кристалла пленки в рамках кинематической теории рассеяния рентгеновского излучения. Разработана программа для планирования эксперимента, позволяющая выбрать наилучший доступный рефлекс на основании результатов анализа.*

*Analysis of XRD experiment carried out for the tetragonal model of a film distortion within the kinematic theory of XRS. Designed program for the experimental planning allows selecting the best available reflex based on the analysis results.*

Результат дифрактометрического эксперимента – кривая качания, представляющая собой зависимость интенсивности дифрагированного излучения от угла дифракции. Вид кривой зависит от структуры, напряженного состояния слоев гетеросистемы и выбранного рефлекса. В свою очередь, напряженное состояние определяется составом  $x$  и степенью релаксации  $R$ , вычисление которых включает определение межпиковых расстояний, полученных в ходе экспериментов в геометрии скользящего падения  $W_A$  и скользящего отражения  $W_B$ . Чувствительность является одним из критериев выбора оптимального рефлекса. Расстояния между пиками зависят от разницы углов Брэгга между пленкой и подложкой  $\delta\theta$  и разницы углов залегания отражающих плоскостей в слоях  $\delta\varphi$ :

$$W_A = \delta\theta + \delta\varphi,$$
$$W_B = \delta\theta - \delta\varphi,$$

Вычисление слагаемых происходило исходя из тетрагональной модели искажений кристалла пленки. Рассчитывались рентгеновские деформации (вдоль и перпендикулярно границе раздела), которые затем пересчитывались в изменение угла залегания отражающей плоскости и изменение межплоскостных расстояний, дающее разницу углов Брэгга.

На рисунке 1 $a$  изображена зависимость чувствительности межпикового расстояния  $W_A, W_B$  к изменению состава и степени релаксации, рассчитанная для гетеросистемы  $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}/\text{Si}$  с границей раздела (001) для разных рефлексов. На рисунке 1 $b$  приведены

зависимости чувствительности от угла залегания отражающей плоскости.

Как видно из графиков, максимальную чувствительность к составу имеют рефлексы с наибольшим углом Брэгга, а для получения максимальной чувствительности к степени релаксации необходимо выбирать рефлексы, соответствующие углам залегания отражающих плоскостей, наиболее приближенным к 45 градусам. На рисунке 1 $\delta$  характерными точками являются точки перехода через 0, т.е. в точках 34 и 52 градуса чувствительность к степени релаксации имеется только в геометрии скользящего отражения и скользящего падения соответственно.

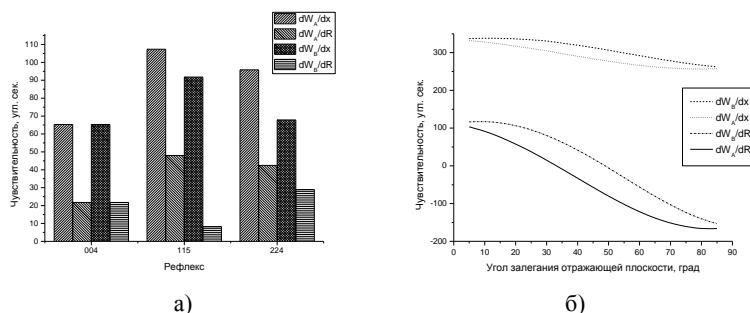


Рисунок 1 - чувствительность  $W_A$ ,  $W_B$  к изменению  $x$ ,  $R$ .  
 а – для разных рефлексов в плоскости границы раздела (001); б – для рефлекса 113 и разных границ раздела.

На основе описанного выше алгоритма разработана программа для планирования эксперимента. Функционал программы включает в себя:

- расчет положений пиков, межпикового расстояния;
- расчет разницы углов Брэгга и изменения угла залегания отражающих плоскостей;
- поиск диапазона углов для детектора, в пределах которых находятся пики интенсивности;
- расчет параметра несоответствия;
- проверку возможности получения заданного рефлекса в геометрии Брэгга.

#### Литература:

1. Гинье А. Рентгенография кристаллов. – Москва: Наука, 1961. – 604 с.
2. Боузн Д.К., Таннер Б.К. Высокоразрешающая рентгеновская дифрактометрия и топография. – Санкт-Петербург: Наука, 2002. – 275 с.

• •  
— . . . . , . .  
, . . . , mariakineva@mail.ru

Коэффициент неприятия риска  $\gamma$ , абсолютный, относительный или условный, является важной характеристикой управления активами в условиях неопределенности рыночной конъюнктуры. Его значение помогает инвестору принять решение о вложении им финансовых средств в рисковые или безрисковые активы на краткосрочный или долгосрочный период, а также позволяет разделить совокупность профессиональных участников фондового рынка на риск-нейтральных, предлагающих или отрицающих риск, что, в свою очередь, влияет на ликвидность или объем торговли ценными бумагами. Целью данной работы является посчитать одномерный уровень риска для курса ЦБ USA/RUB.

*The factor of risk aversion  $\gamma$  is an important characteristic of asset management in conditions of uncertainty market environment. Its value helps an investor to make a decision about investing their funds in risky or risk-free assets in the short or long term and also allows you to divide a set of professional stock market participants on the risk - neutral, preferring or deny the risk that, in turn, affects the liquidity or volume of trading in securities .Currently, there are many methods of estimation and calculation of risk aversion. They can be divided into three categories. The purpose of science work is calculate univariate level of risk for the course of the Central Bank USA / RUB.*

В настоящей работе в качестве абсолютного неприятия риска предлагается рассмотреть показатель рыночной стоимости риска и вычислять его как отношение условных моментов распределения вероятности:

$$\gamma_t \equiv \gamma_t(S_T) = \frac{E(r_{t+1}|R_t)}{\sqrt{D(r_{t+1}|R_t)}}, \quad (1)$$

где  $r_t = (R_t - I_t)$  – избыточная доходность акций, имеющих котировки  $S_t$ ,  $R_t = (S_t - S_{t-1})S_{t-1}^{-1}$  – относительные приращения цен,  $I_t$  – относительные приращения значений индекса,  $t = \overline{1, T}$ .

Вычисление показателя неприятия риска происходит с помощью асимптотического оценивания  $E(r_{t+1}|R_t)$  и  $D(r_{t+1}|R_t)$ . Первый и второй моменты условного распределения определяются следующим образом:

$$M^{(k)} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[ \frac{1}{\Delta t} \int_{\Omega} (\Delta r - \Delta R)^k p(\Delta r, \tau + \Delta t, |\Delta R, \tau) d(\Delta r) \right], \quad (2)$$

где  $\tau = T/\Delta t$ ,  $t \in [t_1, T]$ ,  $k = 1, 2$ ,  $\Omega$  – область изменения  $\Delta r(t)$ . Тогда

$$E(r_{t+1}|R_t) = M^{(1)}, \quad D(r_{t+1}|R_t) = M^{(2)} - [M^{(1)}]^2.$$

Подставляя последние выражения в (1), детерминируем  $\gamma_t$ .

Предложенный метод был применен для нахождения коэффициента неприятия риска для тиковых тридцатиминутных данных – всего 1493 значений рублевых цен доллара за период с 1 октября 2015 г. по 1 февраля 2016.

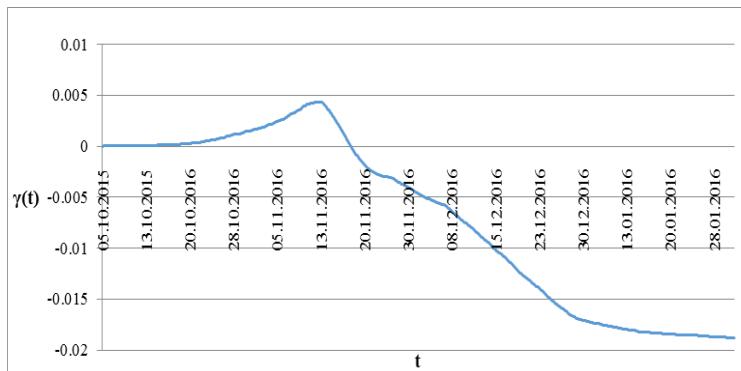


Рисунок 1 - Коэффициент неприятия риска

Литература:

- Буренин А.Н. Управление портфелем ценных бумаг.–М.: НТО им. Вавилова, 2008, 440 с.
- Ait-Sahalia Y., Lo A.W., Nonparametric risk management and implied risk aversion, Journal of Econometrics, 2000, 94, p. 9-51.
- Ait-Sahalia Y., Brandt M.W., Variable Selection for Portfolio Choice, Journal of Finance, 2001, 56, 4, p. 1297-1351.
- Крицкий О.Л., Лисок Е.С. Асимптотическое оценивание коэффициентов модели стохастической волатильности // Прикладная эконометрика, 2007, т. 2, №2, с. 3 – 12.

, ud199@mail.ru

*Работа посвящена исследованию качества моделей вероятностных характеристик, определяемых на основе метода характеристической функции. Путем моделирования было установлено, что увеличение объема выборки оценок характеристических функций приводит к существенному уменьшению ошибки аппроксимации.*

*The article is devoted to the investigation of quality of the probabilistic characteristics models, which is determined on the basis of the characteristic function method. It is shown that the increasing of the sample size of characteristic function estimates leads to significant decrease of the approximation error.*

В настоящее время в радиотехнике и смежных ей областях (защищенная радиосвязь, радиолокация, радиопеленгация, неразрушающий контроль и др.) все большее практическое значение приобретает теория случайных сигналов и помех. Под случайнм процессом (сигналом), как правило, понимают физический недетерминированных сигнал, несущий информацию о состоянии объекта наблюдения [1]. Использование детерминированных сигналов для описания явлений окружающего мира может привести к значительным ошибкам, поэтому особое внимание современным специалистам в области радиотехники и приборостроения следует обратить на развитие новых методов анализа случайных процессов.

Процесс анализа случайных сигналов, как правило, сводится к получению и преобразованию их вероятностных характеристик (с целью принятия некоторого решения). При этом, особое распространение из них получили, в частности: математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение (СКО), функция распределения вероятности (ФРВ) и плотность вероятности (ПВ).

Метод характеристической функции [2] представляет собой относительно новый подход к определению и многоплановому анализу вероятностных характеристик случайных процессов. Он основан на предварительном оценивании значений действительной и мнимой частей характеристической функции ( $X\Phi$ ) для исследуемого случайного сигнала. При этом, параметр  $M$  (объем выборки оценок  $X\Phi$ , или,

другими словами, размер массивов оценок действительной и мнимой частей ХФ) выбирается исходя из вида закона распределения и некоторых других требований. На основе полученных оценок ХФ аналитическим образом могут быть выражены все основные вероятностные характеристики, что дает возможность проводить многофункциональные исследования на базе метода ХФ.

Цель работы – исследование качества моделей вероятностных характеристик (ФРВ, ПВ, СКО, математическое ожидание), построенных на основе метода ХФ, для различных законов распределения (нормальный, равномерный, хи-квадрат, экспоненциальный, Вейбулла, гамма-распределение, бета-распределение).

Для примера, на рис. 1 показана экспериментально полученная зависимость максимальной погрешности определения ФРВ для распределения хи-квадрат от параметра М.

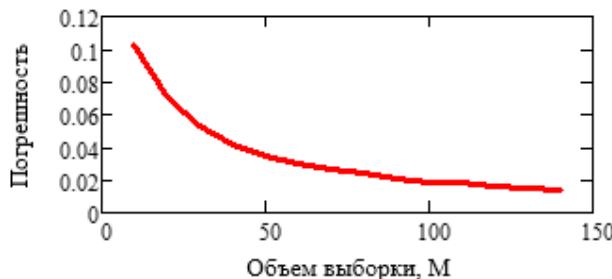


Рис. 1. Зависимость погрешности ФРВ от параметра  $M$

В ходе проведения исследований установлено, что для всех законов распределения: а) качество аппроксимации всех вероятностных характеристик значительно зависит от объема выборки  $M$ ; б) при одном и том же  $M$  ошибка минимальна для математического ожидания, а максимальна для плотности вероятности. Среди всех исследуемых законов распределения модели наилучшего качества были получены для нормального закона.

Литература:

1. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: «Радио и связь», 1989. – 656 с.
2. Вешкурцев Ю. М. Прикладной анализ характеристической функции случайных процессов. – М.: «Радио и связь», 2003. – 204 с.

, maclibrecht@gmail.com

Объектом исследования является устойчивый метод оценивания параметров уравнения регрессии для случая, когда регрессионная модель может меняться в зависимости от подобласти области определения входных переменных. Цель работы – разработка методики устойчивого оценивания параметров уравнения регрессии с использованием нечетких систем. В процессе работы было разработано соответствующее программное обеспечение, выполнено его тестирование и проведено исследование его работы. В результате был реализован и исследован метод устойчивого оценивания, совместно с применением нечетких систем для регрессионного моделирования.

The object of research is robust method of estimating parameters of the regression model in case when regression model may vary depending on the sub domain of the domain of the input variables. Objective is developing robust method of parameters estimation of regression model using fuzzy systems. In the process, appropriate software was developed, tested and researched. As a result of the work robust method of parameters estimation with the use of fuzzy systems for regression modeling was implemented and researched.

Дан набор пар вида  $(x_k, y_k)$ , где  $x_k \in R^q$  – наблюдения – вектора из множества описаний объектов,  $y_k \in R$  – отклики – скаляры из множества допустимых ответов,  $k = 1, \dots, N$ .

Пусть известно, что уравнение регрессии, описывающее отклик, может быть различным в зависимости от подобласти области определения факторов. Такую регрессию называют переключающейся (Switching regression model). Модель в этом случае описывается в виде:

$$y(x) = \begin{cases} \eta^1(x) + e, & \text{if } x \in A^1 \\ \dots \\ \eta^c(x) + e, & \text{if } x \in A^c \end{cases}, \quad (1)$$

$$\eta^i(x) = (\theta^i)^T f^i(x), i = 1, \dots, c. \quad (2)$$

В случае, когда вид уравнения регрессии зависит от подобласти факторов, можно получить единую адекватную модель на всей выборке, значительно ее усложнив. Альтернативный способ – построение модели на основе системе нечетких правил, когда границы подобластей факторов размыты, за счет чего снижается требование к их точному определению.

В этом случае для определения прогнозируемого отклика на всей области используется метод центра масс

$$\hat{y}(x) = \sum_{i=1}^c \mu_i(x) n^i(\hat{\theta}, x) / \sum_{i=1}^c \mu_i(x), \quad (3)$$

$$\theta = (\theta_1^1, \dots, \theta_M^1, \dots, \theta_1^c, \dots, \theta_M^c)^T. \quad (4)$$

Для нахождения оценки вектора параметров, в случае линейных регрессионных моделей применяют М-оценки, которые находятся путем минимизации функции вида

$$Q = \sum_{k=1}^N \rho\left(\frac{r_k(\theta)}{\sigma}\right), \quad (5)$$

где  $\rho(z)$  – функция потерь,  $r_k(\theta) = y_k - \theta^T f(x_k)$  – остаток  $i$ -го измерения,  $\sigma$  – квадратный корень из дисперсии.

Находить М-оценки можно с помощью итеративного МНК (ИМНК).

Так как модели с большим числом регрессоров подвержены переобучению, необходимо использовать некоторый переборный алгоритм для отбора наиболее значимых из них. Хорошие результаты дает так называемый алгоритм «Включения-исключения» (Add-Del). В качестве критерия качества  $Q$  лучше всего использовать критерий CV,

$$CV(\alpha, X^N) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Q(\alpha(X^N \setminus X^{k_j}), X_j^{k_j}), \quad (6)$$

где  $\alpha: X \rightarrow Y$  – наш алгоритм обучения,  $Q(\alpha, X^m)$  – функционал качества алгоритма. В качестве такого функционала выберем медиану абсолютной ошибки

$$Q(\alpha, X^m) = median_{x \in X^m} |\alpha(x_i) - y_i|. \quad (7)$$

Литература:

1. Takagi T. Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control / T. Takagi, M. Sugeno // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. – 1985. – № 15. – С.116-132.
2. Cheng C. Switching regression analysis by fuzzy adaptive network / C. Cheng, E. S. Lee // European Journal of Operational Research. – 2001. – № 128. – С.647-663.

, spaming1@yandex.ru

Представлены алгоритмы поиска глобального оптимума целевой функции в пространстве смешанных переменных: непрерывных и дискретных структурных – при наличии нежестких ограничений типа неравенств.

*Algorithms of finding of a global optimum of the objective function in space of the mixed variables: continuous and discrete structural – in the presence of restriction of the form of inequalities are presented.*

Решается задача поиска глобального минимума  $r$  функции многих переменных при наличии ограничений неравенств:

$$f(x, y) = \min, \varphi_j(x, y) \leq 0, j = \overline{1, m(y)}. \quad (1)$$

Здесь  $x = (x_1, \dots, x_k)$  – вектор  $k$  непрерывных переменных,  $y$  – дискретная структурная переменная. Каждому возможному значению дискретной переменной соответствует своя задача глобальной оптимизации в пространстве непрерывных переменных. Требуется найти оптимальную структуру и соответствующие значения непрерывных переменных.

Существует два пути к решению данной задачи глобальной оптимизации (1). При первом подходе возможные значения дискретной переменной расположены в произвольном порядке. С каждым значением связываем упорядоченные целочисленные возможные значения  $\{1, 2, \dots, r\}$ . Задача (1) принимает форму совокупности  $r$  самостоятельных задач глобальной оптимизации в пространстве непрерывных переменных. Поиск решения для каждой осуществляется внутри допустимой области, задаваемой своими ограничениями-неравенствами:

$$[f_\mu(x) = \min, \varphi_{j\mu}(x) \leq 0, j = \overline{1, m_\mu}], \mu = \overline{1, r}. \quad (2)$$

Требуется определить оптимальное значение для каждой функции, выделить наилучшее оптимальное из найденных решений  $x_{\mu}^*$  и соответствующий ему номер  $\mu^*$  целевой функции. Решение данной задачи подробно рассмотрено в статье [2].

Второй подход к решению задачи глобальной оптимизации предполагает произвольное упорядочивание возможных значений дискретной переменной. Решение в данном случае состоит в переходе от возможных целочисленных значений к непрерывным. Каждому возможному значению дискретной переменной ставится в соответствие равнозначные интервалы возможных значений её непрерывного аналога. При генерации пробных точек значения равномерно распределяются среди интервалов. Таким образом, каждое возможное значение дискретной переменной будет встречаться равное количество раз.

Для связывания возможных значений дискретной переменной и её непрерывного аналога используется функция взаимнооднозначного соответствия. Учёт её необходим для синхронизации процесса вычислений и для обратного перехода от рассчитанных непрерывных значений к истинным дискретным значениям. Таким образом, при попадании генерируемого значения в интервал за счет использования функции взаимнооднозначного соответствия осуществляется переход от непрерывного значения к дискретному.

Использование данного подхода позволяет производить поиск решения без использования перебора всех вариантов возможных значений, как в первом случае.

Решение задачи глобальной оптимизации (1) проводится с использованием базового алгоритма методом селективного усреднения искомых непрерывных переменных [1]. На численных примерах демонстрируется высокая скорость сходимости алгоритмов и «хорошая» точность отслеживания положения глобального минимума.

#### Литература:

1. Рубан А.И. Глобальная оптимизация методом усреднения координат: Монография. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. – 303 с.
2. Mikhalev A.S., Rouban A. I. Algorithms of global optimization of functions on set of the mixed variables: continuous and discrete with unordered possible values // J. AMSE Series: Advanced D. – Vol. 20. – pp. 56-75.

, konstantinms@ya.ru

*Методы импульсной лазерной локации широко используются при создании дальномеров. Необходимо обеспечить максимальную точность измерения расстояния в заданном диапазоне измерений для лазерного импульсного дальномера с накоплением сигнала. С этой целью было смоделировано несколько методов и проведено их сравнение.*

*Methods of pulse laser location system are widely used when creating a rangefinder. It is necessary to ensure the most accurate measurement of distance in a predetermined measurement range for the pulse laser rangefinder with the accumulation of the signal. For this purpose, several techniques have been simulated and compared.*

Принцип действия импульсного лазерного дальномера с накоплением эхо-сигналов заключается в формировании лазерным источником последовательности зондирующих импульсов и суммировании отраженных сигналов.

При наличии в зоне действия дальномера объекта отраженные от него импульсы будут поступать через равные интервалы времени (при условии, что объект неподвижен). Далее считается, что принимаемые импульсы имеют прямоугольную форму и наблюдаются на фоне аддитивного белого гауссовского шума. Амплитуда накопленного отраженного сигнала  $U_{\Sigma}$  будет увеличиваться пропорционально числу импульсов  $N$ , т. е.  $U_{\Sigma} = N \cdot U_1$ , где  $U_1$  — амплитуда принятого сигнала от одного излученного лазерного импульса. Среднеквадратическое отклонение накопленного шумового процесса при этом будет равно  $N^{1/2} \sigma_0$ , где  $\sigma_0$  — среднеквадратическое отклонение входного шума.

В результате такой обработки отношение сигнал/шум в результате накопления составит

$$\eta = \frac{N \cdot U_1}{\sqrt{N} \cdot \sigma_0} = \sqrt{N} \frac{U_1}{\sigma_0}.$$

При проектировании лазерных дальномеров существенными являются две проблемы: выбор лазера, обеспечивающего требуемые характеристики, и разработка алгоритма оптимальной обработки отраженных сигналов [1]. В данной работе лазер считается выбранным.

При приёме сигнала известной формы на фоне аддитивного белого гауссовского шума оптимальный алгоритм сводится к вычислению корреляционного интеграла и сравнении его с пороговым значением [2]. В предположении известной дисперсии шума проведено моделирование с помощью системы MATLAB процедуры принятия решения на основе корреляционной обработки.

В работе проведено сравнение эффективности оптимальной процедуры и алгоритма, основанного на накоплении бинарных предварительных решений, полученных на основе сравнения отсчётов принятой реализации процесса с фиксированными порогами. Рассмотрен потенциальный выигрыш в точности измерения дальности при применении внутриимпульсной модуляции излучения лазера шумоподобными последовательностями.

Литература:

1. Бокшанский В.Б., Бондаренко Д.А., Вязовых М.В., Животовский И.В., Сахаров А.А., Семенков В.П. Лазерные приборы и методы измерения дальности: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. – 92 с.
2. Радиотехнические системы / Ю.П. Гришин, В.П. Ипатов, Ю.М. Казаринов и др.; Под ред. Ю.М. Казаринова. – М.: Высш. шк., 1990. – 496 с.

, alena.shestakova.92@inbox.ru

*Методами статистического моделирования исследованы распределения статистик критериев однородности средних. Приводятся результаты сравнительного анализа мощности критериев по отношению к конкурирующим гипотезам, делаются выводы о предпочтительности использования тех или иных критериев. Реализована возможность применения и исследования распределений статистик критериев, в условиях нарушения стандартных*

*предположений. Полученные результаты должны способствовать корректному применению критериев в приложениях.*

*The methods of statistical modeling are used to investigate the distribution uniformity of statistics criteria of averages. The result of the criteria averages of the power of criteria with respect to the competing hypotheses are given, conclusions about the use of preference for certain criteria are made. The possibility of the use of statistics and research criteria distributions in a violation of the standard assumptions is presented. The results should contribute to the correct application of the criteria in the applications.*

Критерии однородности средних часто используются в различных приложениях при решении задач статистического анализа и проверке гипотезы вида  $H_0: \mu_1 = \mu_2$  в случае двух выборок.

Одним из основных предположений при построении параметрических критериев является принадлежность наблюдаемых случайных величин (погрешностей измерений) нормальному закону распределения. В связи с этим возникает вопрос о поведении конкретных критериев проверки при определенных отклонениях наблюдаемого закона (результатов или ошибок измерений) от нормального и возможности применения классического аппарата в этих условиях. Имеющиеся литературные источники не позволяют судить о преимуществах тех или иных критериев и не содержат четких рекомендаций, очерчивающих область применения и предпосылки, выполнение которых обеспечивает корректность статистических выводов при использовании рассматриваемых критериев [1].

При ограниченных объемах выборок распределения статистик параметрических и непараметрических критериев могут значительно отличаться от соответствующих предельных распределений статистик, используемых в процедуре проверки гипотезы. В случае непараметрических критериев существенным фактором, влияющим на результаты проверки, оказывается дискретность распределений статистик.

При сравнительном анализе мощности критериев рассматривались конкурирующие гипотезы вида  $H_1^i: \mu_2 = \mu_1 + \delta_i \sigma$ , где  $\delta_i$  принимало значения 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1.

В рамках системы ISW [2] реализована возможность исследования и применения следующих критериев однородности средних: рангового знакового критерия Уилкоксона, критерия Фишера-Йейтса-Терри-Гефдина,  $k$ -выборочного критерия Ван дер Вардена. На основании результатов моделирования вычислены оценки мощности  $1-\beta$  критериев, где  $\beta$  – вероятность ошибки второго рода, для различных

значений уровня значимости  $\alpha$  (вероятностей ошибок первого рода) и различных объемов выборок.

При сравнительном анализе мощности критериев однородности средних (в случае принадлежности выборок нормальному закону) рассматривались также критерии Ван дер Вардена, Н-критерий Краскела-Уалиса, z-критерий Манна-Уитни, t-критерий Стьюдента при неизвестных и равных дисперсиях, z-критерий при известных дисперсиях. Оценки мощности этих критериев взяты из [3].

Результаты исследований позволяют расположить рассмотренные критерии в порядке убывания мощности следующим образом:

*Ранговый знаковый критерий Уилкоксона > z-критерий при известных дисперсиях > t-критерий Стьюдента при неизвестных и равных дисперсиях > k-выборочный критерий Ван дер Вардена > Н-критерий Краскела-Уалиса > критерий Фишера-Йейтса-Терри-Гефдинга > критерий Ван дер Вардена > z-критерий Манна-Уитни.*

Литература:

1. Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика : для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
2. ISW – Программная система статистического анализа одномерных случайных величин. URL: <http://ami.nstu.ru/~headrd/ISW.htm> (дата обращения 13.10.2016).
3. Об устойчивости и мощности критериев проверки однородности средних URL: [http://www.ami.nstu.ru/~headrd/seminar/pulik\\_html/Homogeneity\\_averages.pdf](http://www.ami.nstu.ru/~headrd/seminar/pulik_html/Homogeneity_averages.pdf) (дата обращения 25.09.2016).

• .  
- . . , . . ,  
. , oly.krg@mail.ru

*В данной статье описывается процесс вычисления индекса доступности услуг по районам города Томск, процесс формирования гипотезы о численности населения дома, района и города для решения поставленной задачи, а также обзор существующих аналогов.*

*This article describes the process of calculating the accessibility index of services for the city of Tomsk, the process of forming a hypothesis about the population at home, the district and the city to solve this problem, as well as the review of existing analogs.*

Благодаря активному развитию компьютерных технологий, пространственные данные набирают все большую и большую популярность. За счет облегченного доступа к пространственным данным, любой пользователь имеет возможность создавать свои собственные карты и приложения. Использование пространственных данных позволяет решать широкий круг задач, а визуализация их на карте получать новую практическую полезную информацию.

Одной из возможных задач, решаемых на основе использования пространственных данных, является задача вычисления индекса доступности услуг. Индекс будет вычисляться для районов города Томск и позволит наглядно увидеть, насколько услуги в области образования, здравоохранения, торговли и спорта доступны для населения города. Подобные индексы, в частности, используются для оценки (рейтинга) объектов недвижимости, находящихся в конкретном районе города.

За основу были взяты данные известного в России картографического сервиса. На текущий момент для вычисления индекса использовались такие атрибутивные характеристики объектов, как этажность и тип объекта. Примером подобного решения является неофициальный сервис от компании 2ГИС – PinRate, в основе которого лежит справочник API 2ГИС и библиотека Leaflet. Сервис представляет собой интерактивный рейтинг удобства проживания в городе и позволяет пользователю узнать, насколько удобно расположен дом в пределах города. При оценке, учитывается расстояние до разных объектов инфраструктуры города и их влияние на уровень жизни. Результат выводится в процентах и сопровождается соответствующим комментарием. Данный рейтинг является неполным, так как не учитывает следующие важные параметры: транспорт, удалённость от центра города, состояние дома, локальные преграды ( заводы, озера) и т.д.

Поставленная задача носит более масштабный характер и ориентирована на вычисление доступности услуг для районов в целом. Для реализации задачи был произведен примерный расчет численности населения, с целью определения его территориального распределения. При расчёте были учтены объекты постоянного проживания населения (жилой дом и т.д.) и исключены объекты временного проживания (общежития). В зависимости от этажности объектов и количества

подъездов, было сделано предположение о количестве проживающих в них человек. Таким образом, расчетная численность населения Кировского района составляет – 133145 человек, Ленинского – 124636, Октябрьского – 192470, Советского – 128320. В итоге, общая расчетная численность населения всего города равна 578571 человек. Как видно из результата, население на территории города распределено неравномерно. Согласно документу «Предварительная оценка численности постоянного населения Томской области» от 1 января 2016 года число жителей города составляет 569428 человек. Погрешность вычислений равна 2%, что является вполне допустимым результатом.

При вычислении индекса доступности учитывалось количество объектов, предоставляющих услуги населению в данных областях жизнедеятельности (образование, здравоохранение и т.д.), а также мощность объектов. Мощность вычислялась исходя из этажности объекта, количества классов/групп и количества учащихся в одном классе/группе. Индекс доступности определялся из отношения количества человек приходящихся на мощность одного объекта. Лучшим результатом, в рамках данной задачи, являлся наименьший показатель из вычисленных.

Так услуги в области образования, как и услуги в области здравоохранения, по всем показателям наиболее доступны для населения в Кировском районе, услуги в области торговли в Ленинском районе, а услуги в области спорта в Советском районе. Результаты расчетов представлены на интерактивной карте города.

Проанализировав существующий аналог, специфику его работы, инструменты реализации и недостатки, будет доработана задача, с учетом влияния на объект различных факторов, а также будут учтены позиционные (координатные) характеристики объектов.

## GPU

• .  
— . . . , . .  
. , alxndrpetrov@gmail.com

Данная работа описывает использование GPU для улучшения производительности предварительной обработки изображений. Задача состоит в измерении радиуса бревна, движущегося по конвейеру, для дальнейшего планирования обработки. Входными данными являются изображения, полученные с трех камер, которые должны быть обработаны с

высокой скоростью. Работа описывает процесс исследования возможности использования GPU для увеличения производительности обработки изображений. Полученные результаты показывают предпочтаемый способ обработки.

*This paper describes usage of using GPU for improving performance of image preprocessing. Task is to measure log's radius moving on conveyor for further processing planning. Input data are images received from three cameras, which supposed to be processed at a moderately high framerate. Paper describes investigating process of how GPU may be utilized to gain performance for image preprocessing. Obtained results show preferred method of processing.*

Система измерения радиуса состоит из трех камер, установленных на жесткой арке над конвейером. Скорость движения конвейера – 30 сантиметров в секунду. Требуется, по крайней мере, 15 кадров в секунду, чтобы аккуратно измерить радиус по всей протяженности объекта, не пропуская локальные аномалии. Линия монохромного света освещает объект в области сканирования. Это позволяет использовать метод оптической триангуляции для вычисления координат подсвеченной области.

Метод оптической триангуляции позволяет использовать параметры камеры и известную геометрию установки для вычисления положения подсвеченной области в пространстве.

Компьютер, обрабатывающий последовательность изображений, получает кадры одновременно с трех камер, и производит их предварительную обработку. Предварительная обработка состоит из нескольких шагов. Подсвеченные области отделяются от неподсвеченных путем выделения красных пикселей из изображения. После этого изображение бинаризуется и отправляется для дальнейшего анализа.

Обработка изображения начинается с разделения входного изображения на цветовые каналы. Затем маска  $M$  создается для синего и зеленого канала:

$$M = \begin{cases} 1, & x < t, \\ 0, & x \geq t, \end{cases}$$

где  $t$  – значение порога яркости. Для красного канала строится инвертированная маска  $M_r$ , с другим порогом  $t_r$ :

$$M_r = \begin{cases} 0, & x < t_r, \\ 1, & x \geq t_r. \end{cases}$$

После этого красные пиксели  $P$  извлекаются с изображения:

$$P = (M_g \cup M_b) \cap M_r.$$

Для написания программы использовалась библиотека OpenCV, которая является сборником функций, в основном связанных с компьютерным зрением [1]. В качестве мер увеличения производительности OpenCV имеет поддержку технологий CUDA и OpenCL. CUDA – это проприетарный программный интерфейс, созданный Nvidia, позволяющий использовать GPU для вычислений [2]. OpenCL – это открытый фреймворк для параллельных вычислений на различных платформах, включая смешанные [3]. Алгоритм был написан с использованием OpenCL на языке C++ и использованием компилятора Visual Studio с настройками по умолчанию.

Тестирование производилось на тестовой выборке из 150 изображений. Алгоритм выполнялся на ПК с Intel Core i5 4460 @ 3.2 ГГц и Radeon R9 290. Результаты тестирования показаны в таблице 1.

1 –

Оборудование	Время кадра, мс	Общее время, мс	Ускорение
CPU	11,92	1788	1
GPU	3,11	466	3,84

Результаты показывают почти четырехкратное ускорение, позволяя обрабатывать не менее 300 кадров в секунду, что удовлетворяет требованиям задачи.

Литература:

1. OpenCV documentation — <http://docs.opencv.org>
2. Parallel programming and computing platform – CUDA, [http://www.nvidia.com/object/cuda\\_home\\_new.html](http://www.nvidia.com/object/cuda_home_new.html)
3. OpenCL – The open standard for parallel programming of heterogeneous systems – <https://www.khronos.org/opencl/>

• • , • • , • • , • •  
- • • , • •

• • ,  
• , ndrei\_pismarov@mail.ru

*В работе исследуются возможности использования метеорологической ракеты для вывода на низкие орбиты космических аппаратов нанокласса проектных характеристик носителя и его двигательной установки.*

*This article investigates the possibility of using meteorological rockets for output in a low orbit spacecraft of nano-type design characteristics of the launch vehicle and its propulsion system.*

В настоящее время космические аппараты нанокласса (наноспутники) формата CubeSat используются для проведения различных экспериментов в космосе, в первую очередь научно-образовательных и технологических. В настоящее время запущено 544 наноспутника из них 479 в формате CubeSat. При их достаточно небольшом весе (до 10 килограмм), они включают в себя научную аппаратуру, предназначенную для решения целевых задач и блок обеспечивающих систем. Чаще всего, наноспутники запускают попутным образом, т.е. вместе с традиционными космическими аппаратами, но даже в этом случае, запуск получается дорогим и довольно редким. В настоящее время ведутся активные работы по созданию блоков маневрирования, позволяющих поднять и/или снизить орбиту, поэтому актуальным становится вопрос об исследовании альтернативных схем запуска наноспутников, которые позволили бы уменьшить сроки ожидания и стоимость запуска.

Цель работы заключается в оценке энергетических возможностей метеорологической ракеты (МР), с ее последующей доработкой для выведения наноспутников на низкие орбиты и выборе схемы выведения. В качестве средства выведения наноспутника планируется использовать двухступенчатую МР, со стартовой массой 1558 кг, длина ракеты составляет 7988 мм, диаметр миделя 445 мм. Тип топлива на данной ракете – твердое топливо (см. рисунок 1).

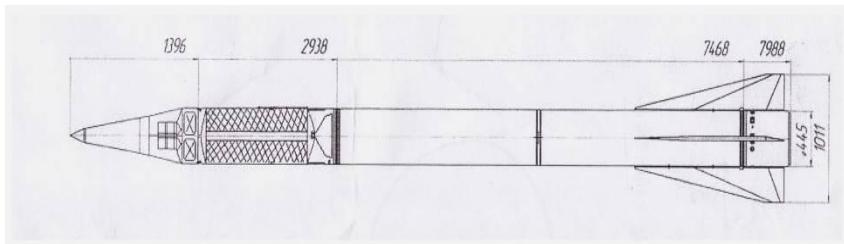


Рисунок 1 –Метеорологическая ракета

Для того чтобы было возможно вывести наноспутник на орбиту высотой 200-250 км, проведены расчеты аэродинамических характеристик и потребной скорости МР, получена оценка энергетических возможностей МР и выбрана схема выведения. На основе полученных данных, определена схема выведения МР - схема с пассивным участком.

Для проведения исследования разработан программный комплекс, реализующий расчёты параметров пассивного участка полёта. Так же были определены значения длительности перелёта, скорости и достигаемой высоты при полете МР, с использованием данной схемы выведения. Так же отражена зависимость высоты полета от времени полета МР.

Таким образом, показана принципиальная возможность использования данной метеорологической ракеты в качестве средства выведения наноспутников на низкие орбиты, что позволит уменьшить сроки ожидания и стоимость запуска.

#### Литература:

1. Белоконов В.М., Вьюжанин В.А. Расчет летных характеристик летательных аппаратов с применением ЭВМ, учебное пособие, СГАУ, Самара, 1993.
2. Белоконов И.В. Расчет баллистических характеристик движения космических аппаратов, СГАУ, Самара, 1994.
3. Белоконов В.М. Основы теории полета космических аппаратов. – Самара: СГАУ, 2006.

• •  
- - . . , . . . c  
• ,  
• , foxlandg@gmail.com

*В данной работе были рассмотрены подходы комбинирования статистических критерии с использованием p-value независимых экспериментов, при полногеномном анализе ассоциаций, с помощью законов распределений хи-квадрат, стандартного нормального и гамма-распределения. Оценки p-value вычислялись с помощью статистик критерия отношения правдоподобия с ограничением (CLRT), критерия выбора генетической модели (GMS), критерия выбора максимального значения (MAX3).*

*In this research, we considered approach combining statistical tests using a p-value of independent experiments using chi-square distribution, standard normal distribution and gamma distribution and its application to genome-wide association study. Estimation of the p-value were calculated using statistics constrain likelihood ratio test (CLRT), the criterion of the selection of the genetic model (GMS), the criterion of selecting the maximum value (MAX3).*

При проведении многоэтапного эксперимента полногеномного анализа ассоциаций, где анализируется сразу несколько выборок, можно применять комбинированные критерии с использованием p-value. Идея данного подхода заключается в объединении нескольких результатов проведённых экспериментов, в данном случае комбинировании p-value по каждой выборке. Статистика данного критерия имеет вид [1]:

$$T_w = \frac{\sum_{i=1}^k w_i F_i^{-1}(1 - p_i)}{\sqrt{\sum_{j=1}^k w_j^2}},$$

где  $F_i^{-1}()$  – это обратная кумулятивная функция распределения,  $k$  – число наблюдаемых выборок,  $p_i$  – p-value  $i$ -го эксперимента,  $w_i$  - вес.

Ниже в таблице 1 приведены рассматриваемые распределения и параметры для комбинированных критериев.

Таблица 1 – Комбинированные критерии

Название	Закон распределения	Весы $w_i$	Распределение статистики
Fisher test	$\chi^2(df=2)$	Без весов	$\chi^2(df = 2k)$
Chen-Nadaraj	$\Gamma(\frac{1}{2}, 2)$	Без весов	$\Gamma(\frac{k}{2}, 2)$
Chen-Yang	$\Gamma(\frac{1}{p_i}, 1)$	Без весов	Неизвестно
Stouffer test	$N(0, 1)$	1	$N(0, 1)$
AQSN	$N(0, 1)$	$\frac{1}{\hat{s}e}$	Неизвестно

В качестве базовых критериев использовались тесты CLRT, GMS и MAX3 [2]. Оценки p-value вычислялись методом Монте-Карло. В качестве альтернатив рассматривались гипотезы при доминантном, рецессивном и аддитивном типе наследования.

По результатам проведённых исследований было установлено, что рассмотренные критерии обладают свойством несмешённости, состоятельности и устойчивости. Среди рассмотренных критериев с наименьшей мощностью оказался тест Chen-Yang. Все остальные критерии при разных альтернативах отличаются друг от друга по мощности незначительно, однако на практике лучше применять критерии типа хи-квадрат.

Литература:

1. Chen, Z. A new statistical approach to combining p-values using gamma distribution and its application to genome-wide association study / Z. Chen, W. Yang, Q. Liu // BMC Bioinformatics. – 2014. – DOI: 10.1186/1471-2105-15-S17-S3.
2. Постовалов, С. Н. Применение компьютерного моделирования для расширения прикладных возможностей классических методов проверки статистических гипотез: дис. ... д.т.н.: 05.13.17: защищена 05.06.14 / Постовалов Сергей Николаевич. НГТУ, Новосибирск, 2014. – 298 с.

, [reshetnikovamariaalex@gmail.com](mailto:reshetnikovamariaalex@gmail.com)

Описываются основные этапы обработки ЭКГ сигнала, необходимые для дальнейшего расчета параметров вариабельности сердечного ритма (BCP). Обработка осуществляется программно и включает полосовую фильтрацию, удаление дрейфа изолинии и выделение R зубца посредством преобразования Гильберта. Описывается алгоритм работы программы, разработанной в среде компьютерных вычислений MATLAB.

The main steps of ECG processing required for calculation of HRV parameters are described. Software processing is assumed and includes bandpass filtering, baseline drift removing and R peak detection by Hilbert transformation. The MATLAB program algorithm is also given.

Электрокардиосигнал (ЭКС) - биоэлектрическое проявление сократительной активности сердца, который регистрируется с помощью поверхностно расположенных электродов на конечностях или грудной клетке.

ЭКС может иметь различные помехи, вызванные артефактами движения, шумами аналоговых усилителей регистрирующей системы, сетевыми помехами и т.д.

В программном пакете MATLAB была разработана программа для обработки ЭКС, принцип работы которой заключается в следующем.

Сигнал ЭКГ проходит предварительную обработку, где программным способом осуществляется его фильтрация, интерполяция и удаление дрейфа изолинии (низкочастотные артефакты).

Фильтрация сигнала производится с использованием фильтра Баттерворта низких и высоких частот и медианного фильтра. Интерполяция сигнала осуществляется методом кубических сплайнов.

В обработанном ЭКС выделяются R-зубцы с помощью преобразования Гилберта, суть которого заключается в формировании ортогонального дополнения сигнала и получения аналитического сигнала [1]:

$$y(t) = x(t) + jx_H(t)$$

где:  $y(t)$  – аналитический сигнал;  $x_H(t)$  - преобразование Гилберта от исходного сигнала  $x(t)$ .

Аналитический сигнал - это комплексная функция от времени, имеющая преобразование Фурье, которое обращается в нуль для отрицательных частот. Преобразование Гилберта сигнала определяется

как свёртка этого сигнала с величиной  $\frac{1}{\pi t}$ :

$$x_H(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{\pi \cdot (t - \tau)} d\tau$$

Преобразование Фурье от  $\frac{1}{\pi t}$  есть  $-j \operatorname{sgn}(\omega)$ , где:

$$\operatorname{sgn}(\omega) = \begin{cases} -1, \omega < 0 \\ 0, \omega = 0 \\ 1, \omega > 0 \end{cases}$$

Применение к обработке ЭКГ сигнала преобразования Гилберта позволяет представить биосигнал в виде аналитического сигнала и выделить его огибающую, что улучшает качество детектирования QRS-комплексов. Для получения аналитического сигнала выполняется преобразование Гилберта от сигнала первой производной.

Достоинством программы является простота обработки ЭКС.

Литература:

1. Rangayyan R.M. Biomedical signal analysis: a case-study approach. – New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002
2. Ruha A., Sallinen S., Nissila S. A Real-Time Microprocessor QRS Detector System with a 1-ms Timing Accuracy for the Measurement of Ambulatory HRV // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 1997. – Vol. 44 (3). – P. 159–167.

, reshेतниковамарияаlex@gmail.com

Разработано программное обеспечение для расчета и визуализации основных параметров вариабельности сердечного ритма (ВСР). Приведено краткое описание работы основных блоков программы.

*Software for calculation and visualization of main HRV parameters is developed. Brief description of the program is given.*

Ритм сердечных сокращений является наиболее доступным для регистрации физиологическим параметром, отражающим процессы автономной регуляции в сердечно-сосудистой системе и организме в целом. Динамические характеристики ритма сердца позволяют оценить выраженность сдвигов симпатической и парасимпатической активности нервной системы при изменении состояния.

Для динамической оценки параметров сердечного ритма необходимо зарегистрировать последовательность КИ, измерить их длительности и провести математическую обработку полученной выборки данных. Наибольшее распространение в клинической практике получили методы временного (статистические и геометрические показатели) и частотного (спектральные показатели) анализа вариабельности сердечного ритма. На рисунке 1 приведена обобщённая структурная схема математического анализа параметров ВСР.

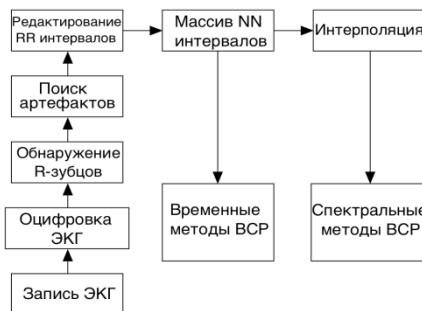


Рисунок 1 – Структурная схема анализа параметров ВСР

Для расчета параметров ВСР в среде компьютерных вычислений MATLAB было разработано приложение с графическим интерфейсом (рисунок 2), работающее с ЭКГ сигналом. ЭКГ сигнал проходит предварительную обработку. Программным способом осуществляется фильтрация и удаление дрейфа изолинии. В обработанном ЭКГ сигнале с помощью преобразования Гилберта выделяются R-зубцы, из которых формируется матрица RR-интервалов.

По данным матрицы RR-интервалов рассчитываются статистические (NN, SDNN, RMSSD, AC, DC) и спектральные (HF, LF, LF/HF) параметры ВСР и строится гистограмма распределения.

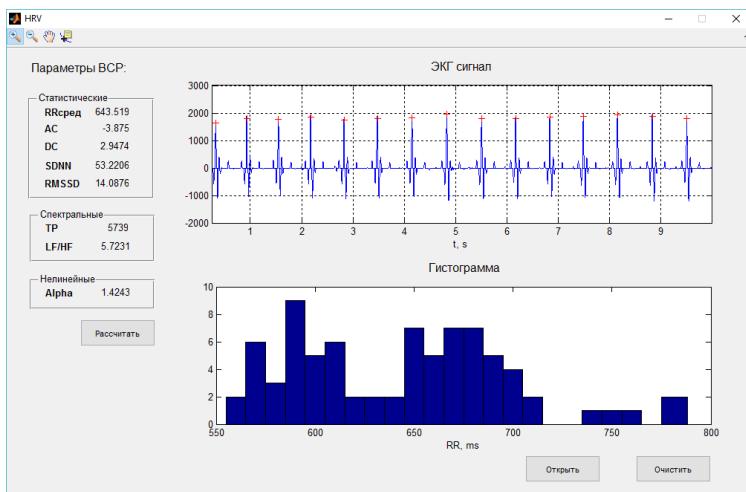


Рисунок 2 - Приложение с графическим интерфейсом для расчета параметров вариабельности сердечного ритма

#### Литература:

1. Task Force of the European Society of Cardiology and North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use // Circulation. – 1996. – Vol. 93 – P. 1043-1065.
2. Bauer A. et al. Phase-rectified signal averaging detects quasi-periodicities in non-stationary data // Physica A. – 2006. – Vol. 364. – P. 423–34.
3. Peng C.K., Havlin S., Stanley H.E., Goldberger A.L. Quantification of scaling exponents and crossover phenomena in nonstationary heartbeat time series // Chaos. – 1995. – Vol. 5. – P. 82–87.

., ., annchern93@gmail.com

*В статье рассматривается проблема оптимизации управления потоками самолетов узлового аэропорта. На основе анализа статистических данных аэропортов предлагается решение задачи методом построения математической модели вылетающих и прилетающих самолетов.*

*In article the problem of optimization of management of flows of planes of hub airport is considered. On the basis of the analysis of statistical these airports the solution of a task is proposed by method of creation of mathematical model of the taking-off and arriving planes.*

Поиск оптимального управления потоками воздушных судов (ВС) на аэродроме узлового аэропорта является основной задачей математической модели.

Под узловым аэропортом понимается аэропорт со значительной долей трансферных перевозок. Под трансферной перевозкой понимается перевозка пассажиров из аэропорта отправления в аэропорт назначения с короткой промежуточной пересадкой в аэропорту трансфера. Характерной особенностью узлового аэропорта является наличие ярко выраженных пиков интенсивности потоков прилетающих и вылетающих ВС.

Таким образом, актуальной задачей является определение численности ВС, которые могут быть приняты и выпущены аэродромом в течение заданных промежутков времени. Задача сводится к задаче математического программирования [1], решаемой известными методами.

В качестве критерия оптимальности выступает минимальная величина суммарных убытков авиапредприятия, вызванных ожиданием ВС команды «на взлет» или «на посадку». На численности ВС, которые могут быть приняты или выпущены аэродромом в течение определенных промежутков времени, накладываются ограничения, обусловленные его пропускной способностью.

Задача решена на примере одного из аэропортов Российской Федерации, функционировавшего по схеме «хаба» и иностранного аэропорта с большой пропускной способностью. Предварительно

определенена расчетная пропускная способность его аэродрома с использованием методики, применяемой отечественными аэропортами.

Исследованы различные варианты ограничений на пропускную способность аэродрома узлового аэропорта. Рассмотрены как наблюдавшиеся в аэропорту, так и прогнозные уровни интенсивности потоков прилетающих и вылетающих ВС.

Расчетный алгоритм реализован на базе табличного процессора Microsoft Excel с использованием надстройки «Поиск решения».

Литература:

1. Gilbo E.P. Airport Capacity: Representation, Estimation, Optimization // IEEE transactions on control systems technology. - 1993. - No. 3. - P.144-154.

, relaks1237@gmail.ru

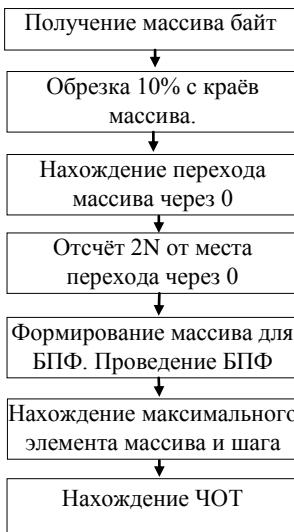
*Объектом разработки является программа для анализа речи, предназначенная для помощи логопедам, фонопедам и фониатрам в работе. В данной программе присутствуют функции записи и анализа голоса, а также реализована возможность добавления информации о пациентах в базу данных (БД).*

*The object is to develop a program for the analysis of speech, intended to assist in the work of speech therapists and phoniatricians. In this program, there are the recording functions and voice analysis, as well as implemented the ability to add information about the patients in the database.*

Речь очень важна в современном обществе. В работе или в личной жизни, умение чётко выразить свою мысль просто необходимо. Если человек имеет какие-то речевые нарушения, то это может помешать ему в общении с другими людьми. Поэтому задача по устранению речевых дефектов достаточно актуальна.

В настоящее время существует множество программ для анализа речи, каждая из которых хорошо подходит для определённой задачи. К примеру, программа Praat [1] имеет большой набор функций, поддерживает множество форматов, но такая программа не предназначена для логопедов.

К тому же программа должна содержать как стандартный набор



функций (таких как выделение частоты основного тона, построение уровнеграммы и спектрограммы), так и рассчитывать специально разработанные коэффициенты для количественного анализа речи (например, коэффициент голосовой гармонизации, DSI, NFHE [2]). Исходя из данных соображений, было решено разработать это приложение.

Программа написана на языке C# с использованием технологии WPF, для доступа к БД был выбран Entity Framework. Также было решено работать с аудиофайлами в формате WAV, с частотой дискретизации 44,1кГц,

Рисунок 1 — Блок-схема нахождения ЧОТ

разрядностью 16 бит, для взаимодействия с аудио использовалась библиотека Naudio. В ходе разработки приложения соблюдался шаблон проектирования MVVM (Model-View-ViewModel), что позволило улучшить общую читаемость кода.

Для расчёта большинства параметров необходимо найти набор частот в голосе человека. Алгоритм расчёта частоты основного тона (ЧОТ) показан на рисунке 1.

Для расчёта частоты основного тона, необходимо перейти от временной формы представления сигнала (Уровнеграммы), к частотной (Спектрограмме). Для этого необходимо воспользоваться быстрым преобразованием Фурье (БПФ).

Правильность работы алгоритма была проверена на ряде аудио файлов, с помощью других программ для анализа голоса (Praat, Sound Forge). Разница между значениями не превысила 1.5 Гц.

Интерфейс окна анализа голоса показан на рисунке 2. Здесь пользователь может загрузить нужный файл, и указав необходимый временной диапазон вычислить различные аудио параметры (DSI, NFHE, коэффициент звонкости).

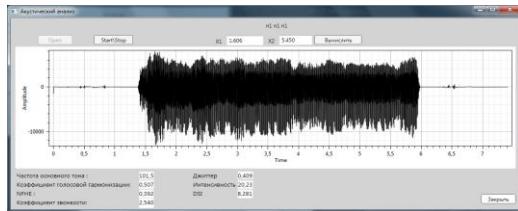


Рисунок 2 — Интерфейс окна анализа

Литература:

1. Praat. — [Электронный документ]. — URL: <http://www.praat.org/>.
2. Stefan Hadjitolodorov, PetarMitev. A computer system for acoustic analysis of pathological voices — [Электронный документ]. — URL:[http://www.researchgate.net/profile/Stefan\\_Hadjitolodorov2/publication/11245562.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Stefan_Hadjitolodorov2/publication/11245562.pdf).

• • , • • , • •

, . , aas-tpu@yandex.ru

*В работе рассмотрены вопросы создания аналитического комплекса по моделированию процессов функционирования элементов систем безопасности. Предлагаемая концепция позволяет проводить моделирование промышленных объектов для проведения оценки эффективности системы безопасности.*

*The work is devoted to issues of creation of analytical complex on simulation of functioning of security system elements. Proposed conception allows modelling of industrial objects for effectiveness evaluation of security system.*

Неотъемлемой частью каждого промышленного объекта является система безопасности, целью которой является защита имущества, жизненно-важных частей комплекса от несанкционированных действий.

В системе безопасности можно выделить три основные составляющие: технические и инженерные средства, организационные мероприятия и персонал системы безопасности. В совокупности эти части определяют способность системы противостоять выделенным угрозам – эффективность системы безопасности.

Оценка эффективности системы безопасности может проводиться на разных этапах функционирования промышленного объекта, особенно важно провести данную оценку на предпроектной стадии для

обоснования экономических затрат. Так как каждый объект обладает уникальными особенностями (территория, расположение зданий, предмета защиты и т.д.), то подходящим методом оценки эффективности является моделирование функционирования промышленного объекта с учетом состава и расположения системы безопасности.

Работа посвящена созданию аналитического комплекса для оценки эффективности систем безопасности, функционал которого позволяет:

- провести графическое моделирование промышленного объекта, оснащенного комплексом инженерных и технических средств системы безопасности;
- выполнить симуляцию взаимодействия «нарушитель – система безопасности» для оценки эффективности используемых средств системы безопасности.

Принцип работы комплекса можно представить в виде двух взаимосвязанных уровней. На первом уровне формируется «статическая» модель, где задается описание объекта, его инфраструктуры, особенности прилегающей территории, характеристики инженерных и технических средств системы безопасности. Также на данном уровне дается описание характеристик сил охраны и нарушителей: численность, уровень подготовки и оснащенности и т.д.

На втором уровне модели происходит взаимодействие основных элементов первого уровня. Происходит моделирование продвижения нарушителя по объекту. Весь процесс движения нарушителя по объекту разбивается на части, характерные для реализации реальным задачам нарушителя. Данная последовательность действий включает преодоление инженерных ограждений, движение по территории объекта, проникновение и организация доступа в здание, движение внутри здания, проникновение в помещение, доступ к предмету защиты. Для оценки сопротивляемости системы безопасности несанкционированным действиям нарушителя используется вероятностно-временной подход. Также на данном уровне происходит взаимодействие нарушителя с силами охраны. Итогом работы таких методов является определение ряда значений вероятности прерывания в зависимости от сценариев действий нарушителей и сил охраны и вариантов оснащенности инженерно-техническими средствами СБ.

В работе представлена концепция аналитического комплекса, по оценке эффективности систем безопасности. Предложенные методы моделирования позволяют проводить оценку эффективности выбранных инженерно-технических средств. Данная разработка может

быть использована при подготовке студентов, обучающихся по специальностям, связанным с обеспечением безопасности промышленных и общественных объектов.

Литература:

1. Garcia M. Vulnerability Assessment of Physical Protection Systems. 1st ed.– Butterworth-Heinemann, 2005. – p 400
2. Lovecek T., Ristvej J., Simal L. Critical Infrastructure Protection Systems Effectiveness Evaluation // J. of Homeland Security and Emergency Management. – 2010. – 7 p
3. Северцев Н. А., Дедков В. К. Системный анализ и моделирование безопасности: учеб. пособие. – М.: Высш. Шк., 2006. – 462 с.

, ilya.shost@gmail.com

В работе изучены свойства критериев многомерной нормальности Шекли–Риццо и Шаприо–Уилка, исследованы распределения статистик критериев, рассчитаны критические значения для заданного объема и размерности выборки, вычислены их мощности.

We studied the properties of Scheckley-Rizzo and Shaprio-Wilk multivariate normality tests, their test statistic distribution. Critical values are calculated for a given sample volume and dimension. Their power is calculated and compared with Mardia and Shrivastava multivariate normality tests.

Нормальное распределение часто встречается при анализе данных в разных областях наук: биологии, медицине, физике, математике, экономике. Однако, чтобы удостовериться в нормальности наблюдаемых данных необходима проверка принадлежности наблюдаемых данных специальными статистическими критериями.

Объектом исследования были разработанные в последнее десятилетие критерии: критерий многомерной нормальности Шекли–Риццо [1], основанный на евклидовом расстоянии между элементами случайной выборки и критерий многомерной нормальности Шапиро–Уилка [2] основанный на эмпирической нормализации рассматриваемых наблюдений.

В ходе исследований была переведены и изучены статьи [1,2], изучены алгоритмы вычисления достигаемого уровня значимости и моделирования многомерного нормального вектора, изложенные в [3]. Так же сделаны программные реализации критериев, исследованы распределения статистик критериев, вычислены и исследованы мощности критериев, а так же проведено сравнение мощностей с другими критериями.

Полученные оценки мощности рассматриваемых критериев многомерной нормальности относительно конкурирующей гипотезы о равномерности закона приведены в таблице 1 в сравнении с известными критериями Мардия [4] и Шриваставы [5].

Таблица 1 – Мощность критериев по отношению к равномерному распределению при размерности  $d=3$  для разных объемов выборок  $n$  и уровня значимости

$\alpha$	Шапиро-Уилка		Шекли-Риццо		Mardia		Srivastava	
	$n=20$	$n=50$	$n=20$	$n=50$	$n=20$	$n=50$	$n=20$	$n=50$
0,15	0,257	0,150	0,664	0,991	0,252	0,394	0,157	0,201
0,1	0,175	0,1	0,559	0,982	0,183	0,304	0,106	0,139
0,05	0,092	0,05	0,394	0,956	0,103	0,188	0,054	0,072
0,025	0,042	0,02	0,269	0,918	0,058	0,112	0,027	0,037
0,01	0,017	0,01	0,161	0,839	0,026	0,054	0,011	0,015

В результате удалось выяснить, что более мощным при проверке многомерной нормальности является критерий Шекли-Риццо. А критерии Шапиро-Уилка, Mardia и Srivastava по мощности примерно равны.

#### Литература:

1. Szekely, G.J. A new test for multivariate normality / G.J. Szekely, M.L. Rizzo // J. of Multivariate Analysis.. – 2005. – 93. – С. 58-80.
2. José A. Villasenor Alva & Elizabeth González Estrada (2009): A Generalization of Shapiro-Wilk's Test for Multivariate Normality, Communications in Statistics - Theory and Methods, 38:11, 1870-1883
3. Лемешко Б.Ю. Один подход к моделированию псевдослучайных векторов с "заданными" числовыми характеристиками по законам, отличным от нормального / Лемешко Б.Ю., Помадин С.С // Материалы

международной НТК "Информатика и проблемы телекоммуникаций". - Новосибирск, 2002.

4. Mardia, K.V. Measures of multivariate skewness and kurtosis with applications / K.V. Mardia // Biometrika. – 1970. – 57. – C. 519-530.
5. Srivastava, M.S. A measure of skewness and kurtosis and a graphical method for assessing multivariate normality / M. S. Srivastava // Statistics & Probability Letters. – 1984. – 2. – C. 263-267.

• . . . , . . .  
• , yumchmaa@must.edu.mn

*В работе рассматриваются нечеткие пересекающихся классы симптомов для медицинской экспертной системы в том числе представление как лингвистической переменной.*

*The paper considers fuzzy-crossed classes of symptoms for medical diagnostic expert system including representation as a linguistic variable.*

В процессе принятия решения в области медицины довольно часто встречается неопределенность, потому что врач субъективно оценивает симптомы болезней на основе своих знаний и опытов. Под субъективной мерой понимается определенная опросом группы врачей степень соответствия элемента понятию, формализованным нечетким множеством. Поэтому экспертная система для медицины может функционировать при неопределенности связь с чем в них широко применяют теорию нечетких множеств и нечеткой логики. Разработка экспертной системы в данной области имеет отличия от задач обычного программирования.

Теоретической основой нечеткой логики являются основные понятия нечеткого множества, лингвистической переменной и нечеткий логической вывод. Нечеткая логика описывается нетолько раздельно числовые характеристики, но качественные характеристики объектов на данной предметной области [1]. Одно из основных приложениях лингвистической переменной находится в области медицины. Симптомы болезней представляют собой лингвистические переменные и из различной степенью принадлежности характеризует ту или иную болезнь из предварительно выбранного класса непересекающихся

множеств различные болезни. С точки зрения лингвистической переменной теории вероятности эти симптомы выражаются как нечеткое множество событий. Например, температура тела – лингвистическая переменная, если она принимает не числовые, значения нормальная, высокая и низкая и т.п., В жизни использование предложений мотивировано тем, что лингвистическое описание, как правило, менее конкретно. Например, “высокая температура”. При этом лингвистическое значение играет такую же роль, как и численное значение выше чем 37 градусов, но является менее понятным и информативным. Обычная интерпретация высказывания “Высокая температура” состоит в том, что человек принадлежит классу больных людей.



Рисунок 1. Функции совместности значений очень низкая, низкая, нормальная, высокая и очень высокая.

На рисунке 1 показано что в любом случае, в норме температура тела не должна опускаться ниже  $35,9^{\circ}\text{C}$  и подниматься выше  $37,2^{\circ}\text{C}$ . Здесь, температура – лингвистическая переменная, значения температуры – нечеткое ограничения, числовые показатели – базовая переменная. Для краткости “температура” определяется множество лингвистической переменной  $\{(очень низкая),(низкая),(нормальная),(высокая),(очень высокая)\}$  и для каждого элемента множества следует построить нечеткий класс. Элементами этого класса являются все значения нечеткой переменной. В аналогичном образе классы можно представить для диагностики на основе пульсов [2].

Представления нечетких пересекающихся классов симптомов болезней для медицинской диагностической системы сводится, как база данных, к решению задач программирования и дают хорошие результаты столь же неопределенные и исходные значения болезней.

Литература:

1. Модель представления знаний при создании медицинской экспертной системы дифференциальной диагностики / Ле Н.В., Камаев Д.П., Панченко Д.П., Трушкина О.А., // Известия ВолгГТУ. – 2014. - №6(133). – С.41-50
2. Гриф М.Г., Юмчмаа А. Применение экспертной системы пульсовой диагностики // Сборник научных трудов НГТУ. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. – С.114-133.

## Секция ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТЕХНОЛОГИЯХ И ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЯХ

### ТЕЧЕНИЕ СТЕПЕННОЙ ЖИДКОСТИ В ПЛОСКОМ КАНАЛЕ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ДЕЙСТВИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

М.П. Бессонова

Научный руководитель – д.ф.-м.н. В.А. Якутенок

Томский государственный университет,

г. Томск, bessonova.mp@mail.ru

*Непрямой метод граничных элементов используется для численного решения задачи о двумерном ползущем течении нелинейно-вязкой жидкости в направлении действия силы тяжести. Сформулированы основные уравнения. Описана численная методика решения. Показано, что в зависимости от значений отношения гравитационных и вязких сил в потоке возможны два режима течения: режим полного заполнения и струйный режим течения.*

*The indirect boundary element method (IBEM) is used to solve a problem of two-dimensional Stokes flow at low Reynolds numbers with moving boundary when gravity force aids the flow. The governing equations are formulated. The numerical technique is described. It was shown that depending on the ratio of gravitational and viscous forces in the flow following basic regime are possible: full filling regime and jet flow regime.*

Процесс заполнения канала нелинейно-вязкой жидкостью реализуется на этапе заполнения пресс-форм при производстве изделий из полимерных материалов методом литья под давлением. Нелинейная зависимость вязкости жидкости от скорости сдвига, а также наличие эволюционирующей свободной поверхности являются особенностями данного процесса. Кроме этого на структуру потока и форму свободной поверхности влияет наличие силы тяжести. Таким образом, течение подобного типа представляет собой сложный процесс, требующий широкого параметрического исследования с целью прогнозирования дефектов формуемых изделий.

В настоящей работе для численного моделирования течения нелинейно-вязкой жидкости со свободной поверхностью в прямоугольном канале используется непрямой метод граничных элементов в сочетании с методом простой итерации. Рассматривается случай, когда направление потока совпадает с направлением действия силы тяжести.

Сформулирована математическая постановка задачи, включающая в себя уравнения Стокса в приближении ползущего течения, учитывающие

действие силы тяжести, и уравнение неразрывности. Сложное реологическое поведение жидкости описывается степенным законом, основным параметром которого является показатель нелинейности. На твердых стенках выполняются условия прилипания. На входной границе задается профиль скорости, соответствующий аналитическому решению для степенного закона (течение Пуазеля). Свободная граница подчиняется динамическому и кинематическому граничным условиям.

Численный метод решения поставленной задачи подробно описан в [1] для случая течения степенной жидкости против направления действия силы тяжести.

В результате были получены картины эволюции свободной поверхности при течении степенной жидкости в вертикальном канале сверху вниз для различных значений показателя нелинейности ( $n=1.0, 0.9, 0.8$ ). Рассмотрено влияние значения отношения гравитационных и вязких сил  $St$  на форму свободной поверхности. Выявлено два режима заполнения канала. Режим полного заполнения наблюдается при малых значениях отношения гравитационных и вязких сил. Жидкость непрерывно натекает на стенки канала и полностью заполняет его. При этом изначально плоская свободная поверхность вытягивается, приобретает выпуклую установившуюся форму и перемещается вдоль канала. С увеличением  $St$  имеет место струйный режим течения. Свободная поверхность приобретает форму с каплеобразованием, поперечный размер которого уменьшается с течением времени и увеличением  $St$ .

Литература:

1. Ponomareva M.A., Filina M.P., Yakutnenok V.A. The indirect boundary element method for the two-dimensional pressure- and gravity-driven free surface Stokes flow // WIT Transactions on Modelling and Simulation. – 2014. – V. 57. – P. 289-3042.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

Н.Е. Борисовская

Научный руководитель – к.т.н., доцент кафедры мостов Л.Ю. Соловьев  
Сибирский государственный университет путей сообщения,  
г. Новосибирск, Nadia.borisovskaya@yandex.ru

Целью исследования стала разработка метода оперативного выявления дефектов типа трещин в металлических конструкциях по анализу

*распределения температурных полей на основании данных инфракрасной термографии. Метод исследования – математическое моделирование теплового процесса при выделении тепловой энергии в местах концентрации напряжений. Установлено, что с использованием инфракрасной термографии возможно точное определение положений, форм и размеров зон с дефектами в металлических конструкциях.*

*The aim of the study was to develop a method of rapid detection of defects, such as cracks in metallic structures by analyzing the distribution of temperature fields on the basis of data of infrared thermography. Method of research – mathematical modeling of thermal process in the allocation of heat in areas of stress concentration. It is established that the use of infrared thermography can be very precisely determined positions, shapes and sizes of the zones with defects in metallic structures.*

В настоящее время существует большое разнообразие методов неразрушающего контроля дефектов металлических конструкций мостов. Однако все эти методы требуют непосредственного доступа к элементам конструкции или прямого контакта с ней, что для эксплуатируемого сооружения зачастую является проблематичным. Представляется актуальной разработка и внедрение высокоеффективного и достоверного метода неразрушающего контроля, с помощью которого возможно оперативное определение наличия дефектов металлической конструкции.

Целью исследования стала разработка метода оперативного выявления дефектов типа трещин в металлических конструкциях по анализу распределения температурных полей на основании данных инфракрасной термографии.

Объектом исследования является металлическая балка двутаврового сечения, подвергающаяся циклическому нагружению.

Новизна результатов состоит в том, что определена зависимость величины температурных аномалий в области концентрации напряжений от величины коэффициента асимметрии цикла при циклическом нагружении металлической конструкции.

В исследовании применяется метод математического моделирования теплового процесса при выделении тепловой энергии в местах концентрации напряжений. Для того чтобы рассчитать температурное поле  $u$  в металле необходимо решить нестационарное уравнение теплопроводности [1]:

$$c\rho \frac{\partial u}{\partial t} = \lambda \Delta u + Q_c \Theta(\tau - t) \Theta(z) \Theta(r - r_p),$$

где  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ ,  $\Delta$  - оператор Лапласа,  $c, \rho, \lambda$  - соответственно, теплоемкость, плотность, коэффициент теплопроводности металла,  $\Theta(t)$  – ступенчатая функция Хевисайда.

Область применения результатов – выявление дефектов металлических конструкций по данным инфракрасной термографии [2-3].

Литература:

1. Исаченко В.П., Осипов В.Л. Теплопередача. – М.: Энергия, 1969.- 132 с.
2. Вавилов В.П., Александров А.Н. Инфракрасная термографическая диагностика в строительстве и энергетике. – М., 2003. – 76 с.
3. Абрамова Е.В. Тепловой неразрушающий контроль зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство.2009, №2. С. 53-55.

## СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МАГНИТОСТАТИКИ ПРОГРАММНЫМ КОМПЛЕКСОМ TELMA С ИЗМЕРЕНИЯМИ

П.А. Бублей

Научный руководитель – д.т.н., профессор М.Э. Рояк  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, pavelbubbley@protonmail.com

В докладе рассматривается сравнение результатов численного решения задачи магнитостатики с данными измерений на примере сложного дипольного магнита.

The report discusses comparing the results of numerical magnetostatics problem solution with the physical experiment data for an example of the complex dipole magnet.

Одной из возможностей программного комплекса Telma является решение задач магнитостатики [1; 2].

На рис. 1 представлен комбинированный электромагнит со сложной структурой. Основными его частями являются 8 главных обмоток, 4 дополнительных корректирующих обмотки, а также конструкция из магнитомягкой стали.

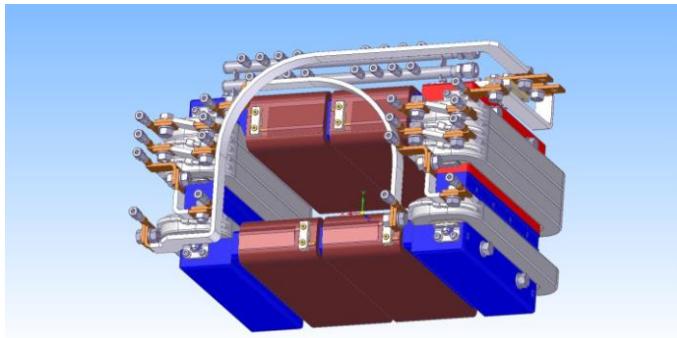


Рисунок 1 – Комбинированный электромагнит со сложной структурой

Данный электромагнит является диполем, цель которого – создать магнитное поле с достаточно заметной вертикальной компонентой, в то время как остальные компоненты в сравнении с ней будут незначительными. Независимо от этого есть возможность создания корректирующего горизонтального поля на уровне 10% от величины вертикальной составляющей.

Сложная структура диполя обусловлена его применением в установке электронного охлаждения для циклического ускорителя заряженных частиц.

При решении программным комплексом данной задачи был рассчитан вектор магнитной индукции. Для наглядного сравнения его с измерениями использовался модуль вектора.

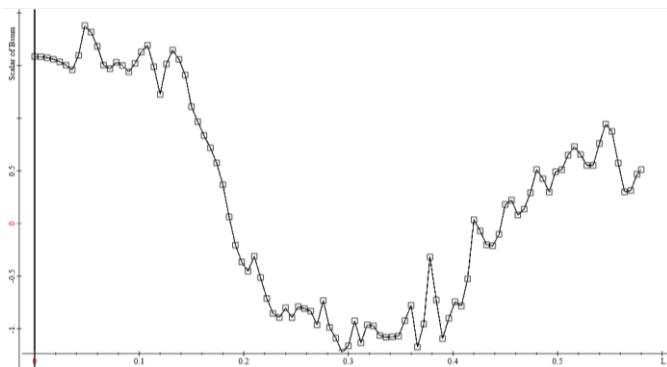


Рисунок 2 – Нормированная разница модулей вектора магнитной индукции расчета и измерений

На рис. 2 изображена нормированная разность расчетов с помощью программного комплекса Telma и измерений модуля вектора магнитной индукции вдоль конструкции.

Отличие результата расчета и измерений не превышает 2%. Такое различие может объясняться некоторой неточностью предоставленной кривой намагниченности стали.

Для дипольного магнита проведено сравнение результатов численного моделирования и измерений.

Литература:

1. Ступаков И.М., Рояк М.Э. Использование быстрого метода граничных элементов для решения задач магнитостатики // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. – Санкт-Петербург. – 2012. – №5. – с. 70-74
2. Рояк М.Э. и др. Алгоритмы оптимизации геометрии дипольных магнитов // Актуальные проблемы электронного приборостроения труды XII международной конференции: АПЭП-2014. – 2014. – С. 215-219.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ГАЗОВОГО КОМПРЕССОРА**

**А.Д. Бубнов, М.Ю. Винтер, В.Л. Блинов**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент О.В. Комаров**

**Уральский федеральный университет имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург,  
alexandr**bubnov21@rambler.ru****

*Аннотация: Исследование посвящено разработке методики проектирования высокоеффективных проточных частей центробежных компрессоров природного газа. Особенностью реализуемого подхода является совместное использование разработанных программ одномерного и двумерного проектирования с программными комплексами вычислительной газовой динамики и многокритериальной оптимизации на этапе доводки конструкции.*

*Abstract: Research work is devoted to development of design technique for centrifugal compressor flow path that runs on natural gas. Special feature implemented approach is the sharing of developed one-dimensional and two-dimensional design programs with software package computational fluid dynamics and multicriteria optimization on finishing the design stage.*

В большинстве классических методик проектирования лопаточного аппарата центробежного компрессора (ЦБК) используется база продувок

ограниченного числа модельных ступеней. Источником данных в таком случае являются эксперименты на специальных исследовательских стендах. Такие эксперименты дорогостоящи, и не всегда гарантируют получение лучшего решения. В настоящей работе предлагается иная схема проектирования ЦБК (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Структурная схема методики проектирования ЦБК

На основе подходов отечественных авторов к расчету компрессоров [1] реализован программный код проектирования ЦБК на номинальный режим работы, который позволяет автоматически получать 3D модель созданной проточной части. Дальнейшие расчеты и анализ работы спроектированной конструкции осуществляется с использованием методов вычислительной газовой динамики. Процесс передачи полученной геометрии в специализированные программные комплексы полностью автоматизирован. На данном этапе рассчитываются несколько вариантов спроектированных ЦБК, сравниваются их характеристики, и выбирается лучший вариант.

Дальнейшее совершенствование происходит в процессе многокритериальной оптимизации. Для этого разработана программа параметризации геометрии проточной части ЦБК [2]. Построение лопаточного аппарата осуществляется по двум сечениям. Профиль на каждом сечении строится по средней линии (кривая Безье третьего порядка) и заданному закону распределения толщины (кривая Безье второго порядка). В первом приближении параметризация меридиональных обводов реализуется в виде простых элементов (прямые, дуги окружностей), в дальнейшем возможно локальное применение кривой Безье.

Полученные результаты численного исследования исходной геометрии автоматически передаются в программный комплекс

многокритериальной оптимизации. На этом этапе оптимизации анализируются полученные данные, и принимается решение об последующих изменениях в геометрии, которые вносятся в программу параметризации. Далее осуществляется следующая итерация численного расчета уже новой конструкции. Так происходит до тех пор, пока не будет получена наиболее эффективная геометрия ЦБК.

Литература:

1. Ваняшов А.Д., Кустиков Г.Г. Расчет и конструирование центробежных компрессорных машин: Учеб. пособие. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. - 208 с.
2. Параметрическое профилирование плоских компрессорных решеток при решении задач многокритериальной оптимизации / Блинov B.Л., Бродов Ю.М., Седунин В.А., Комаров О.В. // Известия высших учебных заведений. – 2015. - № 3-4. – С. 86 – 95.

## **РАЗРАБОТКА СХЕМ КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ, ВОЗБУЖДАЕМОГО ПРОИЗВОЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННОЙ ЗАЗЕМЛЕННОЙ ТОКОВОЙ ЛИНИЕЙ**

**И.А. Вагнер**

**Научный руководитель – д.т.н., профессор Ю.Г. Соловейчик  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, igor.vagner92@mail.ru**

*В данной статье будет рассматриваться метод, позволяющий найти нормальную составляющую электромагнитного поля с использованием наклонной токовой линии. Поле от такого источника может быть представлено в виде суммы полей от горизонтальной электрической линии (ГЭЛ) и вертикальной электрической линии (ВЭЛ).*

*In this paper, the method that allows to find the normal component of the electromagnetic field using a sloping electric dipole source will be considered. The field from such a source can be represented as a sum of fields from the horizontal electric dipole (HED) source and the vertical electric dipole (VED) source.*

Как известно, методы электроразведки широко применяются для поиска полезных ископаемых [1]. Но бывают случаи, когда нам необходимо получить поле от наклонной токовой линии, например, при помещении ее в наклонную скважину. Чтобы найти нормальное поле от такого источника, необходимо найти поле, возбуждаемое

горизонтальной электрической линей (ГЭЛ) [2] и вертикальной электрической линией (ВЭЛ) [3] и сложить их.

В принципе, для расчета нормальной составляющей поля используются полуаналитические методы [4], но эти методы, являются неэффективными при расчете поля в большом числе точек.

Поэтому, для расчета нормального поля будем использовать конечноэлементные аппроксимации. В случае ВЭЛ будем решать нестационарную осесимметричную задачу. Проблема состоит в получении поля от горизонтальной составляющей с использованием метода конечных элементов [5].

Для получения электромагнитного поля горизонтальной токовой линии используется альтернативный метод, имеющий ряд преимуществ. Этот метод позволяет представить в горизонтально-слоистой среде электромагнитное поле, в виде суммы полей от источников, поле которых может быть получено путем решения соответствующих осесимметричных задач без взаимовычитающихся составляющих и использовать технологию выделения поля горизонтально-слоистой вмещающей среды.

Литература:

1. Жданов М.С., Сничак В.В. Математическое моделирование электромагнитных полей в трехмерно-неоднородных средах. – М.: Наука, 1992. – 187 с.
2. Персова М.Г., Соловейчик Ю.Г., Абрамов М.В. Конечноэлементное моделирование геоэлектромагнитных полей, возбуждаемых горизонтальной электрической линией // Сиб. журн. индустр. матем. – 2009. – Т 12, № 4. – С. 106–119.
3. Соловейчик Ю.Г., Персова М.Г., Тракимус Ю.В. Использование векторного МКЭ для расчета становления осесимметричного поля вертикальной электрической линии // Докл. АН ВШ. – 2004. – № 1(2). С. 76-86.
4. Могилатов В.С., Захаркин А.К., Злобинский А.В. Математическое обеспечение электроразведки ЗСБ. Система «Подбор». – Новосибирск: АИ «ГЕО», 2007. – 157 с.
5. Соловейчик Ю.Г., Рояк М.Э., Персова М.Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 896 с.

# ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ СХОДИМОСТИ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ

**А.Э. Васькина, П.И. Москвитина**

**Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Ю.Н. Сидоренко**  
**Томский государственный университет,**  
**г. Томск, bastet94@mail.ru**

*В работе рассматривается проблема оценки сходимости генетических алгоритмов решения задач оптимизации. Сравниваются две возможные формулировки критерия сходимости алгоритма. Эффективность предложенных критериев изучается на примере уни- и полимодальных аналитических функций.*

*This paper presented the problem of convergence conditions for genetic algorithm by solving problems of optimisation. Two possible formulation criterion of algorithm's convergence are compared. Efficiency of discussed criterion studing for uni- and polymodal analytical functions.*

Современные технологии позволяют создавать новые конструируемые материалы, наилучшим образом соответствующие требуемым условиям эксплуатации посредством управления их структурой. Проблемы, возникающие в связи с разработкой новых материалов со свойствами, зависящими от многих параметров, приводят к необходимости решения задач оптимизации их состава [1]. В связи с этим, развитие практики применения методов оптимизации в материаловедении является одной из важнейших проблем современного производства материалов. Эффективность такого способа их создания может повышаться с помощью методов оптимизации. Требуемые характеристики материалов заданы параметрами, и необходимо подобрать их, решая задачу оптимизации. Использование методов оптимизации в материаловедении осложняется тем, что задачи, возникающие при создании новых материалов, зачастую являются многопараметрическими, используемые функции могут иметь много экстремумов, а их области определения могут быть многосвязными.

Для решения таких задач эффективными являются генетические алгоритмы (ГА). Генетический алгоритм представляет собой поисковый метод, в основе которого лежит селекция элементов, наиболее подходящим образом отвечающим условиям поставленной задачи, в популяции, напоминающая эволюционную теорию Ч. Дарвина [2]. Основой для возникновения генетических алгоритмов послужила модель биологической эволюции и методы случайного поиска. Эволюционный

поиск – это последовательное перераспределение одного конечного множества промежуточных решений в другое.

Одной из проблем ГА является отсутствие априорной информации о скорости сходимости метода, поэтому возникают трудности с оценкой сходимости алгоритма, так как для неё нет надежного критерия. Эффективность применения ГА при решении задач оптимизации во многом зависит от выбора критерия сходимости.

В данной работе рассматриваются возможные подходы к оценке сходимости ГА при поиске экстремумов уни- и полимодальных функций. Для оценки сходимости в данной работе предложены следующие подходы. При оценке сходимости по первому критерию область поиска разбивалась на некоторое количество подинтервалов (ячеек), величина которых определялась требуемой точностью нахождения экстремума функции. Для каждой сформированной популяции определялась ячейка, содержащая максимальное количество решений из популяции и вычислялась относительная доля популяции, попавшая в ячейку. Сходимость считается достигнутой, если относительная доля популяции превышает некоторое заданное значение этой величины – параметр критерия сходимости. По второму критерию вычислялся центр рассеяния решений. Определялась доля, попавшая в окрестность точки центра.

Работоспособность предложенных способов оценки сходимости показана на примере исследования аналитических функций. Показано, что оба применимы и к унимодальной, и к полимодальной функциям.

#### Литература:

1. Немировский А. С., Юдин Д. Б. Сложность задач и эффективность методов оптимизации. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. - 384 с.
2. Гладков Л.А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Генетические алгоритмы / Под ред. В. М. Курейчика. – 2-е изд., испрavl. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 368с.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ГАЗОВОГО КОМПРЕССОРА

**М.Ю. Винтер, А.Д. Бубнов, В.Л. Блинов**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент О.В. Комаров**

**Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, mishavinter@mail.ru**

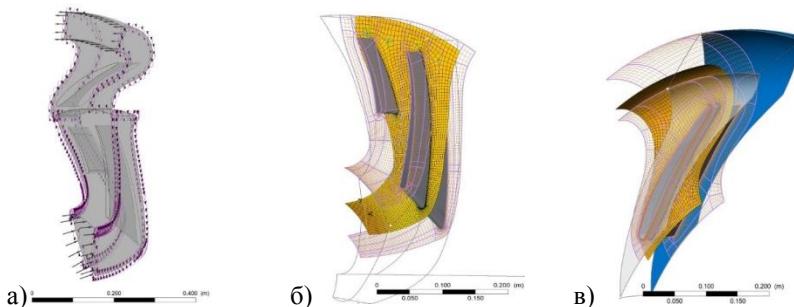
*Аннотация: Исследование посвящено влиянию различных параметров численной модели течения в центробежном компрессоре природного газа на*

точность проводимых расчетов. Верификация численной модели осуществлялась на основании данных натурных испытаний.

*Abstract: The study investigates the impact of several factors of the numerical simulation on the calculations' accuracy. The model verification is based on the real installation test run data.*

Центробежный компрессор (ЦБК) является основной рабочей машиной компрессорных станций газопроводов, предназначеннной для сжатия и транспортирования природного газа [1]. Трудность газодинамического проектирования компрессоров связана с исключительно сложным характером движения газа в их проточной части. В настоящее время многообразие программных комплексов моделирования процессов, протекающих в проточных частях турбомашин, позволяет с достаточной точностью осуществлять расчеты и проектировать основные узлы ЦБК [2]. В численной модели требуется учесть большое число факторов: густота разбиения расчётной области на сетку конечных элементов, выбор модели турбулентности, задание граничных условий, параметры рабочего тела и прочие настройки CFD-решателя. В настоящей работе проводится исследование влияния различных факторов на точность расчетов эксплуатационных характеристик ЦБК путем сравнения результатов моделирования с опытными данными.

Численные исследования течения в проточной части центробежного компрессора осуществлялись в программном комплексе Ansys CFX. Расчеты проводились в осесимметричной постановке. Количество ячеек расчетной области – 500 000 ячеек. Граничные условия задавались по принципу: полное давление и полная температура на входе, статическое давление на выходе. Интерфейс между доменами – Stage. В качестве рабочего тела был выбран метан CH<sub>4</sub> (модель – Aungier Redlich Kwong). Для учета свойств реального природного газа в модели утончались его критические параметры (состав принимался согласно ГОСТ 28775-90). Шероховатость поверхностей - 6 микрон. В качестве модели турбулентности использовалась модель k-e. Уровень сходимости решения – 10-5. Значение параметра timescale factor – 10. Расчетная модель проточной части, состоящей из рабочего колеса и лопаточного диффузора, с заданными граничными условиями представлена на рис. 1 а. Разбиение расчетной области на конечные элементы представлено на рис. 1 б, в.



а – проточная часть ЦБК, б – рабочее колесо, в – диффузор

Рисунок 1 – Расчёчная модель

Для учета влияния входной и выходной улиток проводились отдельное их моделирование с целью определения зависимостей потерь полного давления от массового расхода газа через ЦБК (определяет режим работы). В качестве граничных условий для входной улитки выбраны статическое давление и температура на входе и массовый расход на выходе, а для выходной – массовый расход на входе и статическое давление и температура на выходе. Такой подход позволяет повторить схему испытаний.

В общей сложности рассмотрено 47 режимов работы компрессора. Среднеквадратичная погрешность по мощности и политропному КПД составила 3,27 и 2,70 % соответственно, погрешность по степени повышения полного давления и температуре газа на выходе из ЦБК - 1,18 и 0,37 % соответственно.

#### Литература:

1. Ревзин Б.С., Тарасов А.В. Особенности конструкций одно- и двухступенчатых нагнетателей природного газа: Учеб. пособие.- Екатеринбург: Изд-во УГТУ-УПИ, 2000. - 102 с.
2. Блинов В.Л. Выбор параметров расчетной модели при решении задач многокритериальной оптимизации плоских компрессорных решеток / Блинов В.Л., Бродов Ю.М., Седунин В.А., Комаров О.В. // Компрессорная техника и пневматика. – 2015. - № 1. – С. 36 – 42.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ТРОСОВОЙ СИСТЕМЫ

П.С. Воеводин

Научный руководитель – д.т.н., профессор Ю.М. Заболотнов  
Самарский национальный исследовательский университет,  
г. Самара, p.voevodin@inbox.ru

В работе разработана математическая модель электродинамической космической тросовой системы и проведено численное моделирование её движения при осуществлении маневров на орбите спутника Земли.

In this paper, the mathematical model of electrodynamic tether system space and numerical simulation of its motion when maneuvering in orbit Earth satellite.

Перспективность применения электродинамических тросовых систем (ЭДТС) в космосе подтверждается тем, что из 26-ти проведенных в различных странах до настоящего времени реальных космических тросовых экспериментов в двенадцати экспериментах были использованы ЭДТС [1].

В работе рассматривается тросовая система, состоящая из двух малых космических аппаратов (КА) и проводящего невесомого троса, по которому пропускается постоянный электрический ток в заданном направлении. Уравнения движения тросовой системы записываются в подвижной орбитальной системе координат. Для вывода уравнений движения используются уравнения Лагранжа с обобщёнными координатами  $q_1 = r$ ,  $q_2 = \theta$ ,  $q_3 = \varphi$ , где  $r$  - расстояние между КА,  $\theta$  и  $\varphi$  - углы отклонения троса от местной вертикали, проведенной из центра масс системы.

Уравнения, описывающие колебания системы на орбите имеют вид

$$\ddot{r} - r \left[ \dot{\varphi}^2 + (\dot{\theta} + \omega)^2 \cos^2 \varphi + v^{-1} \omega^2 \left( 3 \cos^2 \theta \cos^2 \varphi - 1 \right) \right] = Q_1 / m_e,$$

$$\ddot{\theta} + \dot{\omega} + 2(\dot{\theta} + \omega)(\dot{r}/r - \dot{\varphi} \sin \varphi) + 1.5v^{-1}\omega^2 \sin 2\theta = Q_2 / m_e r^2 \cos^2 \varphi,$$

$$\ddot{\varphi} + 2\dot{\varphi}\dot{r}/r + \left[ 0.5(\dot{\theta} + \omega)^2 + 1.5v^{-1}\omega^2 \cos^2 \theta \right] \sin 2\varphi = Q_3 / m_e r^2,$$

где  $m_e = m_1 m_2 / m$ ,  $m_1, m_2$  - массы КА,  $m = m_1 + m_2$ ,  $\vartheta$  - угол истиной аномалии,  $\omega = \dot{\vartheta} = (K/p^3)^{0.5} v^2$ ,  $\dot{\omega} = \ddot{\vartheta} = -2Kes \sin \vartheta / p^3$ ,  $p$  - параметр орбиты,  $v = 1 + e \cos \vartheta$ ,  $e$  - эксцентриситет орбиты,

$Q_{1,2,3}$  - обобщенные силы, которые вычисляются по методике, изложенной в работе [2].

Сила Ампера на единицу длины, действующая в магнитном поле Земли, определяется выражением

$$d\mathbf{F} = I\mathbf{\tau} \times \mathbf{B},$$

где  $\mathbf{\tau}$ - единичный вектор, направленный по касательной к тросу;

$\mathbf{B} = \mu R_e^{-3} \mathbf{e}_z$  - вектор магнитной индукции;  $\mathbf{e}_z$  - единичный вектор, направленный перпендикулярно магнитному экватору Земли,  $\mu$ -постоянная, характеризующая магнитное поле Земли,  $I$ - величина тока.

В таблице 1 приводятся результаты моделирования. Исходная орбита является круговой (1000км), длина троса L=1км. Вариант 1 таблицы 1 показывает, как изменяется большая полуось  $\Delta a$  орбиты центра масс системы, когда  $m_1=m_2=30\text{кг}$ ,  $I=-2\text{А}$  за 10час при различных наклонениях орбиты  $i$ . В этом случае реализуется подъем высоты орбиты центра масс системы.

Таблица 1

№ варианта	$i, \text{град}$	0	15	30	45	60	75
1	$\Delta a, \text{км}$	46.16	44.59	40.01	32.70	23.16	12.02
2	$I, \text{A}$	3.3	2.8	2.9	3.1	4.1	4.3
3	$I, \text{A}$	-4.3	-3.5	-3.6	-3.7	-4.2	-5.1

В вариантах 2 и 3 таблицы 1 показаны критические значения тока, при которых система переходит во вращение, в зависимости от наклонения орбиты для случая, когда  $m_1=20\text{кг}$ ,  $m_2=40\text{кг}$ . При всех наклонениях в рассматриваемом случае критические значения тока по модулю для случая  $I<0$  больше, чем для случая  $I>0$ . Это обусловлено асимметрией, связанной с направлением угловой скорости орбитального движения центра масс КА.

### Литература:

1. Zhong R., Zhu Z.H. Dynamics of Nanosatellite Deorbit by Bare Electrodynamic Tether in Low Earth Orbit // J. of Spacecraft and Rockets, 2013, v.50, №3, p.691-700.
2. Белецкий В.В., Левин Е.М. Динамика космических тросовых систем. – М.: Наука, 1990. 336 с.

# МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ ТОЛЩИН И СКОРОСТЕЙ ПРИСТЕННЫХ ПЛЕНОК СМЕСЕЙ ВОДА-ЭТАНОЛ ПРИ ИСТЕЧЕНИИ СО СПУТНЫМ ГАЗОВЫМ ПОТОКОМ ИЗ КАНАЛОВ В ВАКУУМ

В.Р. Вотинов<sup>1</sup>, Ю.Н. Вязов<sup>2</sup>

Научный руководитель – д.т.н., профессор В.Н. Ярыгин

<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет,

<sup>2</sup>Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН,

г. Новосибирск, dgin\_93@mail.ru, Vyzov-h@yandex.ru

*В работе представлена методика измерений локальных толщин и скоростей пристенных пленок смесей вода-этанол, истекающих со спутным потоком газа из каналов различной геометрии в вакуум. Разработана методика тарировки емкостных датчиков. Построены тарировочные кривые для чистых жидкостей и их смесей.*

*The measurement technique of the local thickness and velocity of near wall liquid film of water-ethanol mixture under ejection with co-current high velocity gas flow from channel of various geometric into vacuum is presented.*

*The calibration technique of capacity type probes for pure liquids and their mixtures was developed. The calibration plots for pure liquids and their mixtures were obtained.*

В докладе рассматриваются вопросы моделирования в вакуумной камере процессов, вызывающих загрязнение внешних поверхностей МКС струями двигателей ориентации и управления. Основное внимание при этом уделено исследованию взаимодействия пристенной охлаждающей пленки жидкости с высокоскоростным газовым потоком внутри сопла и процессу выброса пристенной пленки жидкости с кромки сопла в вакуум. С помощью датчиков емкостного типа проведены измерения локальных толщин и скоростей пристенных пленок жидкости.

При проведении экспериментальных исследований по взаимодействию пристенной пленки со высокоскоростным спутным потоком газа очень важным является вопрос достоверности результатов измерений, поэтому в работе большое внимание было уделено тарировке емкостных датчиков. В работе была реализована схема тарировки с использованием втулок из диэлектрика, которые плотно вставлялись в канал и имели проточку заданной глубины над датчиком, заполняемую жидкостью. Этот способ позволил получить тарировочные кривые для каждого датчика с учетом его индивидуальной чувствительности и заделки датчиков относительно поверхности канала. Такие тарировочные кривые были построены как для чистых воды и этанола, так и для смесей вода-этанол с объемными концентрациями 25, 50 и 75%, которые

использовались в качестве рабочих жидкостей в экспериментах. Поскольку измеряемая толщина пленки жидкости пропорциональна диэлектрической проницаемости среды, формально можно было провести тарировки только с одной жидкостью (например, этанолом), а тарировочные кривые для остальных получить путем умножения на коэффициент, равный отношению диэлектрических проницаемостей. При этом величины диэлектрической проницаемости чистых жидкостей можно найти в справочных данных, а для смесей использовать правило Лихтенеккера [3]:

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00406.

Литература:

1. Ярыгин В.Н., Герасимов Ю.И., Крылов А.Н., Мишина Л.В., Приходько В.Г., Ярыгин И.В. Газодинамика космических кораблей и орбитальных станций (обзор) // Теплофизика и Аэромеханика. 2011, Т.18, №3. С. 345-372.
2. Серов А.Ф., Котов С.В., Назаров А.Д., Павленко А.Н., Пе-черкин Н.И., Чехович В.Ю. Емкостной измеритель локальной толщины пленки жидкости // ПТЭ. 1997, Т.40, №1. С.136-139.
3. Корицкий Ю.В. Справочник по электромеханическим материалам. Т.1. Москва: Энергоатомиздат, 1986, 368 С.

## ИЗОТЕРМИЧЕСКАЯ СЖИМАЕМОСТЬ АРГОНА ПО ДАННЫМ МД-МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.Б. Дабаева, В.А. Мункуева

Научный руководитель – преп. каф. ОФ Е.И. Герман

Бурятский государственный университет,  
г. Улан-Удэ, [adisa.dabaeva.1997@mail.ru](mailto:adisa.dabaeva.1997@mail.ru)

*Приведены результаты расчета изотермической сжимаемости аргона, полученные в результате компьютерного эксперимента. На температурных зависимостях изотермической сжимаемости видны изменения, трактуемые как фазовые переходы.*

*The results of the calculation of isothermal compressibility of argon obtained by computer simulation. The temperature dependence of the isothermal compressibility visible changes, interpreted as phase transitions.*

Компьютерное моделирование позволяет проникнуть в природу микромира в условиях труднодоступных для проведения натурного эксперимента, что позволяет определять интересующие свойства

вещества на всей фазовой кривой. Наиболее распространенный метод моделирования, используемый в физике конденсированного состояния – метод молекулярной динамики (МД) позволяет моделировать различные термодинамические ансамбли и даже динамические процессы [1].

В качестве расчетной характеристики была выбрана изотермическая сжимаемость  $\beta$  – величина малоизученная для области низких температур. Наиболее распространенная методика расчета сжимаемости основана на определении радиальной функции распределения, которая сильно зависит от структуры вещества и количества частиц в инициируемой системе [2], что приводит к большим погрешностям в случае проведения эксперимента в динамических процессом (охлаждение например).

Нами была использована методика предложенная в работе [3], для которой необходимо получение двух изобар с близкими значениями давления. С помощью программы моделирования молекулярных систем MDDX 11, были получены фазовые кривые для изобарных процессов охлаждения от 200 до 15 К с давлениями 5 и 4,8 МПа. По разностям плотностей на фазовых кривых определялась сжимаемость:

$$\beta = \frac{1}{\langle \rho \rangle} \frac{\rho_5 - \rho_{4.8}}{\Delta P},$$

где  $\rho_5$  и  $\rho_{4.8}$  – плотности систем при 5 и 4,8 МПа при равных температурах,  $\Delta P = 0,2$  МПа. Полученная зависимость изотермической сжимаемости соответствует изобаре с давлением 4,9 МПа (Рисунок 1).

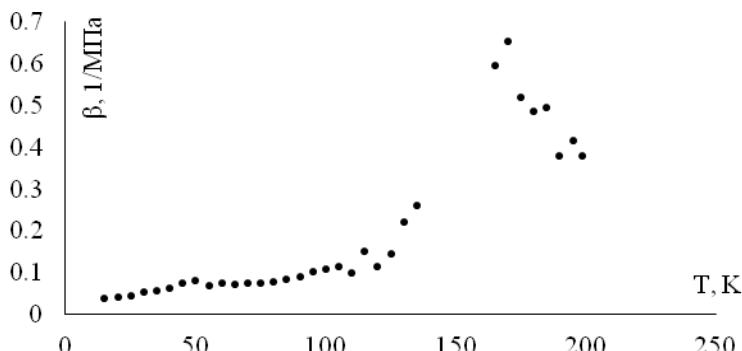


Рисунок 1. Изотермическая сжимаемость аргона по данным компьютерных экспериментов, моделирующих охлаждение со скоростью  $10^9$  К/с.

На температурной зависимости сжимаемости четко выделяются области стабильных фаз: >160 К – газ, 60-150 К – жидкость, <55 К - твердое тело.

Полученные результаты хорошо согласуются с известными справочными данными [4].

Литература:

1. Хеерман Д.В. Методы компьютерного эксперимента в физике. – М.: Наука, 1990 – 176 с.
2. Темперли Г. Физика простых жидкостей. – М.:Мир, 1971. – 309 с.
3. Герман Е. И., Цыдыпов Ш. Б. Расчет изотермической сжимаемости аргона методом молекулярной динамики при различных скоростях охлаждения // Наноматериалы и технологии: материалы всерос. научн. конф. с международным участием. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2016. – С. 270-272.
4. Александрова А.А., Орлова К.А., Очкова В.Ф. Интерактивный справочник "Свойства и процессы рабочих тел и материалов атомной энергетики" [Электронный ресурс]. – URL: <http://twt.mpei.ac.ru/TTHB/NPP/> (дата обращения: 15.10.2016)

## ОДНОМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ГЕМОДИНАМИКИ ДЛЯ СОСУДОВ КОНИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

С.Г. Давыдова

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Э.А. Бибердорф

Новосибирский государственный университет,  
г. Новосибирск, [svetamira\\_davydova@mail.ru](mailto:svetamira_davydova@mail.ru)

Тема этой работы возникла из необходимости усовершенствовать существующую модель для сосудов цилиндрической формы, реализованную на платформе *BioUML*. Была получена система уравнений одномерной модели гемодинамики для сосудов конической формы, а также проведена ее программная реализация. В ходе экспериментов установлено, что сужение не влияет на скорость пульсовой волны, но при этом позволяет избежать ситуации, когда волны, отраженные от стыков цилиндрических сосудов, значительно искажают форму пульсовой волны. Также проверены условия минимизации отражений от терминальных артерий. Актуальность полученных результатов обусловлена важностью моделирования профиля пульсовой волны и изучения условий его формирования, вследствие его высокой диагностической информативности.

*The theme of this work arose from the need to improve the existing model for cylindrical vascular implemented on the platform BioUML. Equations system of hemodynamics one-dimensional model for vascular with conical shape was obtained,*

*and its software implementation was held. The experiments revealed that the restriction does not affect the pulse wave velocity, the restriction avoids the situation where the waves reflected from the cylindrical vessels joints significantly distort the shape of the pulse wave. Also the terms of minimizing reflections from the terminal arteries were checked. The relevance of the results is due to the importance of modeling the profile of the pulse wave and the study of the conditions of its formation, because of its high diagnostic informative.*

Математическое моделирование в биологии и медицине приобретает всё большие масштабы. В частности, множество работ посвящено моделированию сердечно-сосудистой системы. При моделировании артериальной системы человека чаще всего используется одномерная модель гемодинамики. При этом форма сосудов считается цилиндрической [1], хотя ряд крупных сосудов, например аорта, имеет коническую форму. В данной работе проведена адаптация одномерной модели гемодинамики для сосудов конической формы, а именно, внесены соответствующие изменения в уравнения математической модели и проведён ряд численных экспериментов.

Наиболее интересные результаты связаны с распространением пульсовой волны. Оказалось, что скорости пульсовой волны в коническом, цилиндрическом сосудах, а также рассчитанная по формуле Моенса—Кортевега приблизительно равны. Также проведено исследование влияния коэффициента фильтрации на формирование отраженной волны и отражения пульсовой волны от стыка двух цилиндрических сосудов, которое показало, что использование конических сосудов, а также специального коэффициента фильтрации на концах терминальных сосудов приводит к сглаживанию формы пульсовой волны.

Полученная модель для сосудов конической формы может быть рекомендована для усовершенствования комплексной математической модели сердечно-сосудистой системы, реализованной на платформе BioUML (совместная работа ИМ СО РАН и КТИ ВТ СО РАН) [2], в частности, для более адекватного моделирования профиля пульсовой волны.

#### Литература:

1. Кунделеев А.Ю., Кантор Б.Я. Распространение волн давления в сужающихся цилиндрических сосудах с жидкостью // Проблемы машиностроения. – 2000. – Т. 3-4.– С. 118–122.
2. Персонализация параметров и валидация модели сердечно-сосудистой системы человека / И.Н. Киселев, Э.А. Бибердорф, В.И. Баранов, Т.Г. Комлягина, В.Н. Мельников, С.Ю. Суворова,

С.Г. Кривошеков, Ф.А. Колпаков // Математическая биология и биоинформатика. – 2015. – Т. 10, № 2. – С. 526–547.

## АЛГОРИТМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНВЕРСИИ ДЛЯ 3D-ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ГЕОЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ

К.В. Дундукова

Научный руководитель – д.т.н., профессор Ю.Г. Соловейчик  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, katedundukova@gmail.com

В данной работе будет представлен алгоритм 3D геометрической инверсии данных геоэлектроразведки. Данный алгоритм позволяет восстанавливать не только электрофизические параметры среды, но и геометрические характеристики аномальных объектов. Данные синтезировались для метода геоэлектроразведки с использованием заземленной линии. Для этого были реализованы соответствующие методы для моделирования практических данных с использованием метода конечных элементов.

An algorithm of 3D geometric inversion of geoelectric prospecting data is presented in this paper. This algorithm allows to recover not only the electrical parameters, but also the geometrical characteristics of anomalous objects. Data were simulated for geoelectric prospecting methods with usage of a grounded line. For this purpose, appropriate methods for simulation of practical data were implemented using a finite element method.

Задачи интерпретации данных играют важную роль в различных технологиях разведки. Быстрые и гибкие алгоритмы инверсий открывают широкие возможности для интерпретации данных в геологии, гидрологии, инженерии, в биологии и медицине.

Задачи интерпретации данных могут включать в себя неоднородные 3D объекты сложной формы. Для таких сложных задач необходимо большое количество данных и большое количество параметров, чтобы воспроизвести их внутреннюю структуру. Как следствие, очень часто инверсия данных с использованием традиционных алгоритмов инверсии становится невозможной.

В результате решения обратной задачи минимизируется функционал вида (1) [1 – 3]. Входными данными для обратной задачи являются значения поля в  $N$  приемниках  $\varepsilon^*$ .

$$J_\alpha(u) = \sum_{i=1}^N (\omega_i \delta \varepsilon(u))^2 + \sum_{j=1}^M \alpha_j (u_j - \bar{u}_j)^2, \quad (1)$$

где  $\delta\varepsilon(u) = \varepsilon^* - \varepsilon(u)$ ,  $\varepsilon(u)$  – данные в  $N$  точках, полученные при решении прямой задачи с некоторыми "неточными" параметрами среды  $u = (u_1, \dots, u_M)$ ,  $\omega_i$  – веса,  $\alpha_j$  – параметры регуляризации,  $\bar{u}$  – вектор фиксированных параметров, в окрестности которых ищем параметры задачи.

Объект в плоскости сложной геометрии в 2D плоскости описывается структурой, содержащей:

- разбиение каждой стороны объекта на ребра;
- сдвиги от начала границы области описания объекта в шагах скелетной сетки.

По третьей координате задается длина объекта и значение третьей координаты, от которой эта длина считается.

В результате тестирования разработанного алгоритма на синтетических аналогах практических данных, положение и форма аномальных объектов восстанавливалась достаточно хорошо. На рисунках 1 – 2 изображены истинный аномальный объект, и объект, полученный в результате инверсии. В результате инверсии невязка упала на 3 порядка относительно стартовой модели.

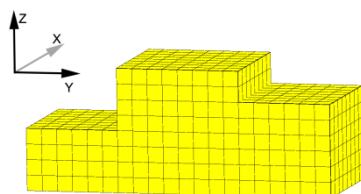


Рисунок 1 – Истинный аномальный объект

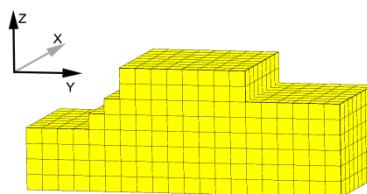


Рисунок 2 – Объект, полученный в результате инверсии. Итерация 45

#### Литература:

1. Персова, М.Г. Алгоритмы 3D-инверсии данных зондирований становлением поля с использованием борновских приближений / М.Г. Персова, Е.И. Симон, Ю.Г. Соловейчик // Научный вестник НГТУ. – 2013. – №2(51). – С. 62-72.
2. Жданов, М.С. Теория обратных задач и регуляризации в геофизике. / М.С. Жданов. – М.: Научный мир, 2007. – 712 с.
3. Персова, М.Г. О подходе к выполнению 3D-инверсий данных зондирований нестационарным электромагнитным полем на основе конечноэлементного моделирования. / М.Г. Персова, Ю.Г. Соловейчик, Д.В. Вагин // Научный вестник НГТУ. – 2011. – №2(43). – С. 97-106

# ПРИМЕНЕНИЕ DG-МЕТОДА ДЛЯ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ КОНВЕКЦИИ-ДИФФУЗИИ-РЕАКЦИИ

А.А. Железнова

Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.Б. Иткина  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, zheleznova.alyona1994@yandex.ru

*Рассматриваются вариационные постановки разрывного метода Галёркина для задач конвекции-диффузии-реакции. Проведено исследование влияния сеточного числа Пекле на устойчивость вычислительной схемы. На классе модельных задач показано, что при преобладании конвективного переноса для обеспечения устойчивости вычислительной схемы необходимо использование лифтинг-операторов.*

*Variational formulations for convection-diffusion-reaction problems based on discontinuous Galerkin method are considered. The effect of the grid Peclet number on the stability of the computational scheme was investigated. For some model problems it was shown that when convection dominated it was necessary to use lifting operators in order to achieve the stability of the computational scheme.*

Большое разнообразие прикладных задач, в которых присутствует конвективный перенос, способствует повышению требований к эффективности численных методов. Одним из относительно новых методов является разрывный метод Галёркина (DG FEM) [1], который позволяет получать аппроксимации разрывных решений.

DG FEM сочетает в себе подходы, заимствованные из таких методов как метод конечных элементов и метод конечных объёмов. Неконформность метода даёт возможность естественным образом использовать при решении задачи несогласованные сетки, разрывные базисные функции и локально повышать порядки базисных функций. Конечный вид вариационной постановки определяется способом вычисления входящих в эту постановку численных потоков, которые обеспечивают связь конечных элементов друг с другом.

Цель данной работы - реализация вычислительной схемы на базе разрывного метода Галёркина для решения уравнения конвекции-диффузии-реакции, имеющего следующий вид:

$$-\operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} u) + \bar{a} \cdot \operatorname{grad} u + cu = f.$$

Для построения дискретного аналога была использована вариационная постановка Baumann-Oden [2] на прямоугольных конечных элементах и биквадратичном разрывном базисе.

В рамках данной работы для решения поставленной задачи был разработан и верифицирован на классе модельных задач программный комплекс, исследовано влияние сеточного числа Пекле на устойчивость вычислительной схемы, проанализирована проблема использования дополнительных лфтинг-операторов, обеспечивающих устойчивость вычислительной схемы.

Литература:

1. Cockburn B., Karniadakis G.E., Shu C.-W. Discontinuous Galerkin Methods: Theory, Computation and Applications. - Berlin: Springer.-Verlag., 2000. – 470 p.
2. Arnold D. N., Brezzi F., Cockburn B., Marini L. D. Unified Analysis of Discontinuous Galerkin Methods for Elliptic Problems // SIAM Journal on Numerical Analysis. - 2002. - Vol. 39, N 5, P. 1749-1779.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЬЕЗООПТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ЕГО ПАРАМЕТРОВ**

**П.С. Загубисало**

Научный руководитель – к.ф.-м.н. А.Г. Паулиш  
Филиал ИФП СО РАН «КТИПМ»,  
г. Новосибирск, peter.zagubisalo@gmail.com

Построена математическая модель пьезооптического (ПП) преобразователя, используемого в датчиках деформации. С помощью модели оптимизирована конструкция ПП, определено влияние параметров элементов ПП на выходной сигнал ПП, исследовано влияние температуры, определены предельные характеристики ПП.

A mathematical model of piezooptic transducer (PT), used in strain gauges, is developed. Using the model the design is optimized, the effect of PT elements parameters on the PT output signal is determined, the influence of temperature is investigated and limiting PT characteristics are defined.

Эффект фотоупругости используется для измерения напряжений или деформаций. Механические напряжения, прикладываемые к исходно изотропному материалу приводят к анизотропному изменению коэффициента преломления. Это – эффект двулучепреломления, который при падении на материал специально поляризованной световой волны приводит к разности фаз между компонентами поляризации поперек и вдоль оси напряжений. Преобразование разности фаз в выходной электрический сигнал, пропорциональный величине приложенной

нагрузки, осуществляется с помощью пьезооптического преобразователя (ПП) (Рисунок 1а). Датчик деформаций состоит из ПП, помещенного в аддитивный элемент (АЭ), который вставлен в контролируемый объект (КО, например, швеллер). Два последних передают напряжение на фотоупругий элемент (ФЭ), который является частью ПП. ФЭ изготовлен из пластины плавленого кварца и имеет крестообразную форму. На Рисунках 1б и 1с исследованы преимущества крестообразного фотоупругого элемента по сравнению круглым и квадратным ФЭ. Определён оптимальный баланс между повышением эффективности фотоупругого элемента и изменением порога разрушения за счет изменения формы элемента.

В расчётах были использованы три модели: а) модель ФЭ + АЭ + КО, используемая для расчёта деформаций и напряжений ФЭ методом конечных элементов, и модели, учитывающие расстояния между элементами схемы, изменения интенсивности и поляризации на элементах схемы, б) пути лучей от светодиода к фотодиоду, а также мощности, диаграммы направленности, чувствительность и геометрия фотодиодов, в) вращения элементов оптической схемы. В результате моделирования определена оптимальная пара светодиод и фотодиод и определены оптимальные расстояния между узлами ПП. Выбор оптимальной пары позволил уменьшить ток светодиода, рассеиваемую мощность и уменьшить температуру ПП.

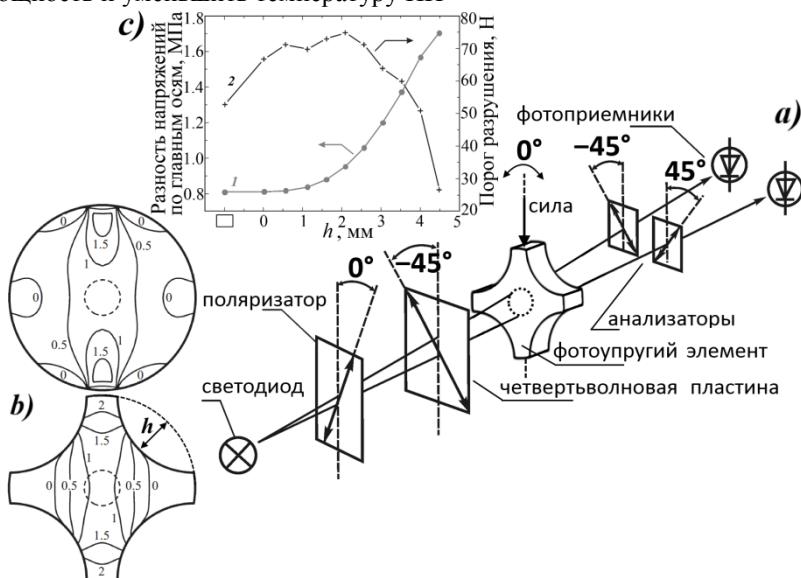


Рисунок 1 – Схема ПП и исследование формы ФЭ.

Часть обнаруженного в эксперименте температурного "дрейфа" объясняется асимметрией геометрии контролируемого объекта. Дополнительное влияние температуры на выходной сигнал возникает только при одновременной неточной установке элементов оптической схемы и изменении пиковой длины волны светодиода с температурой. В результате моделирования и проведения экспериментов определены предельные параметры ПП: диапазон измеряемой деформации =  $3.5 \times 10^{-12}$  м  $\div 1.7 \times 10^{-7}$  м, диапазон измеряемой силы =  $0.29 \times 10^{-3} \div 14.2$  Н, чувствительность = 36 мкА/нм.

Литература:

1. Паулиш А.Г., Загубисало П.С. Фотоупругий элемент для пьезооптических датчиков деформаций // Письма в ЖТФ. — 2015. — Т. 41. — №13. — С. 33-40.

## ПРИМЕНЕНИЕ ИЕРАРХИЧЕСКИХ БАЗИСОВ НА ШЕСТИГРАННЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ С КРИВОЛИНЕЙНЫМИ ГРАНИЦАМИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ

Д.А. Загуменнов

Научный руководитель – д.т.н., профессор М.Г. Персова  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, d.zagumennov@yandex.ru

*В данной статье рассмотрено применение иерархических базисов на шестиугольных конечных элементах с криволинейными границами для решения эллиптической краевой задачи. Показан способ построения иерархических базисов. Реализована и протестирована вычислительная схема.*

*The application of hierarchical basis on hexagonal finite elements with curved edges to solving elliptical boundary problems is considered in this paper. The process of building hierarchical basis is presented. The calculational scheme is implemented and tested.*

Шестиугольные элементы (трехмерные фигуры с шестью четырехугольными гранями) применяют для решения задач в сложных расчетных областях с криволинейными границами. Данные элементы сочетают в себе преимущества параллелепипедальных элементов в точности аппроксимации решения с возможностями тетраэдров при описании расчетных областей со сложными границами. В данной работе мы рассмотрим иерархические шестиугольные элементы с криволинейными границами.

Отображение единичного куба  $\Omega^E$  в шестигранный конечный элемент с криволинейными границами  $\Omega_k$  с вершинами  $(\hat{x}_i, \hat{y}_i, \hat{z}_i)$  осуществляется с помощью соотношений

$$x = \sum_{i=1}^{27} \hat{\phi}_i^{cur}(\xi, \eta, \theta) \cdot \hat{x}_i, \quad y = \sum_{i=1}^{27} \hat{\phi}_i^{cur}(\xi, \eta, \theta) \cdot \hat{y}_i, \quad z = \sum_{i=1}^{27} \hat{\phi}_i^{cur}(\xi, \eta, \theta) \cdot \hat{z}_i, \quad (1)$$

где  $\hat{\phi}_i^{cur}$  – стандартные триквадратичные функции на  $\Omega^E$ , определяемые соотношениями

$$\hat{\phi}_i^{cur}(\xi, \eta, \theta) = B_{\mu(i)}^{cur}(\xi) \cdot B_{\nu(i)}^{cur}(\eta) \cdot B_{\theta(i)}^{cur}(\theta), \quad i = 1 \dots 27, \quad (2)$$

$$B_1^{cur}(t) = 2(t - 0.5)(t - 1), \quad B_2^{cur}(t) = -4t(t - 1), \quad B_3^{cur}(t) = 2t(t - 0.5), \quad (3)$$

Введем иерархические базисные функции, заданные на единичном отрезке вида:

$$B_1^{hie}(t) = 1 - t, \quad B_2^{hie}(t) = t, \quad (4)$$

$$B_3^{hie}(t) = 2t(t - 1), \quad B_4^{hie}(t) = \frac{2}{3}t(t - 1)(2t - 1), \quad t \in [0, 1]. \quad (5)$$

В соответствии с выбранными базисами приведем формулы локальных матриц массы и жесткости, учитывая, что коэффициенты  $\gamma$  и  $\lambda$  постоянны на  $\Omega_k$  и равны соответственно  $\bar{\gamma}$  и  $\bar{\lambda}$

$$\hat{M}_{ij} = \bar{\gamma} \iiint_{\Omega^E} \hat{\phi}_i^{hie}(\xi, \eta, \theta) \cdot \hat{\phi}_j^{hie}(\xi, \eta, \theta) |J| d\xi d\eta d\theta, \quad (6)$$

$$\hat{G}_{ij} = \bar{\lambda} \iiint_{\Omega^E} \left( J^{-1} \operatorname{grad} \hat{\phi}_j^{hie}(\xi, \eta, \theta) \right)^T J^{-1} \operatorname{grad} \hat{\phi}_j^{hie}(\xi, \eta, \theta) |J| d\xi d\eta d\theta \quad (7)$$

где  $J$  – якобиан преобразования координат.

Поскольку аналитический расчет интегралов (9)-(10) вычислительно затратный по сравнению с численным интегрированием, и в некоторых случаях вычислительно неустойчивый, то мы применяем численное интегрирование методом Гаусса с тремя узлами по каждой из координат.

Реализованная программа создана на языках C++ и C#. Модуль на C++ выполняет численный расчет и подключение OpenGL, а модуль на C# создает окно и элементы интерфейса средствами Windows Forms. Для связи C++ и C# используется созданная на C++ динамически загружаемая библиотека. Программа не использует никакие сторонние библиотеки, не входящие в состав стандартной установки Windows и использует OpenGL версии 1.1.

В качестве входных данных программе поступает функция правой части  $f$  эллиптической краевой задачи, коэффициенты  $\lambda$  и  $\gamma$ , краевые

условия различных типов, а также расчетная область с конечноэлементной сеткой.

В окно программы выводится графическое изображение построенной расчетной области, а также изолинии, отображающие значения решения.

Программа была протестирована на модельных задачах.

Литература:

1. Соловейчик Ю. Г., Рояк М. Э., Персова М. Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач. — Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2007. — 896 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕТОНАЦИИ ЗАРЯДОВ МАЛОГО РАЗМЕРА

О.А. Зимоглядова

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Л.А. Мержиевский  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, zimogldv@rambler.ru

*In this paper we investigated the dynamics of the output of the detonation process on steady state which is characterized by a constant velocity of the detonation and a constant curvature of the detonation front.*

*В данной работе прослеживается динамика выхода детонационного процесса на стационарный режим, характеризующийся постоянной скоростью детонации и неизменной кривизной детонационного фронта.*

Современные представления о стационарной детонации взрывчатых веществ (ВВ) основываются на гидродинамической модели Михельсона – Чепмена - Жуге (МЧГ) и её развитии – модели Зельдовича – Неймана – Дёринга (ЗНД) [1]. Принципиальными в данных моделях являются гипотезы о стационарности процессов и о плоском фронте детонационной волны. В лабораторных условиях при экспериментальном исследовании особенностей протекания детонационных явлений зачастую используются заряды ВВ относительно малых размеров, в которых эти гипотезы могут нарушаться [2]. В данной работе численно моделируется процесс детонации малых цилиндрических зарядов диаметром 20 мм и длиной 30 мм из взрывчатого вещества Сomp B. Для моделирования используется пакет ANSYS AUTODYN 17.0. Предполагается, что инициирование детонации осуществляется ударом алюминиевой пластинки со скоростью 2 км/с, что обеспечивает формирование в начальный момент плоского детонационного фронта и режима перескатой детонации. В расчетах прослеживается динамика выхода детонационного процесса на

стационарный режим, характеризующийся постоянной скоростью детонации и неизменной кривизной детонационного фронта.

Литература:

1. Физика взрыва / Под. ред. Л.П. Орленко. - 3-е изд., испр. и доп. - В 2т. - М.; ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 1488 с.
2. Распределение плотности во фронте детонации цилиндрических зарядов малого диаметра / К.А. Тен, О.В. Евдоков, И.Л. Жогин, В.В. Жуланов, П.И. Зубков, Г.Н. Кулипанов, Л.А. Лукьянчиков, Л.А. Мержьевский, Б.Я. Пирогов, Э.Р. Пруузл, В.М. Титов, Б.П. Толочко, М.А. Шеромов. // Физика горения и взрыва. - 2007. - т. 43. - № 2. - С. 91.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА СИСТЕМЫ КОМПТОНОВСКОГО ПОЛЯРИМЕТРА ВЭПП-4М**

**В.О. Ивакин**

**Научный руководитель – к.ф.-м.н. И.Б. Николаев**

**Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, ivakin@stud.nstu.ru**

*Работа посвящена моделированию поляризованного света в оптических системах и обработке экспериментальных данных для выявления поляризации луча.*

*This paper is about modeling of polarized light in optic systems and analysis of the experiment data for identification of light polarization.*

Прецизионная калибровка энергий пучков на ускорительном комплексе ВЭПП-4М [1] методом резонансной деполяризации, использует асимметрию обратного комптоновского рассеяния для определения факта поляризации электронного пучка. Для этого требуется управления поляризацией лазерного луча и её контроль на всех участках оптического пути.

Для анализа изменения поляризации при прохождении луча через элементы оптической системы была написана библиотека на языке программирования Python, которая моделирует поляризованный свет, используя для его описания матрицы Мюллера [2]. Она позволяет быстро проверять гипотезы, меняя набор оптических элементов в системе.

Измерение поляризации осуществляется следующим способом: с помощью врачающегося анализатора (поляризационная пластинка) модулируется линейная составляющая света. Анализируя интенсивность выходного луча и учитывая характеристики оптической системы можно сделать вывод о поляризации.

Была произведена автоматизация процесса измерения поляризации: с фотодиода снимается напряжение (пропорционально интенсивности луча), затем происходит интерполяция сигнала, учитывающая вращение поляризатора, его колебания связанные с неидеальной соосностью системы, засветку фотодиода и нелинейность АЦП. Для этих целей использовался пакет обработки данных ROOT.

Моделирование прохождения света через оптический тракт, а также измерение поляризации света на различных участках оптического пути позволили улучшить управление поляризацией.

Литература:

1. А.Н. Алешаев, В.В. Анашин, О.В. Анчугов и др., Ускорительный комплекс ВЭПП-4, ИЯФ СО РАН, Новосибирск, 2011. - С. 74-83
2. Бёрч Дж.М., Джеррард А. Введение в матричную оптику - Москва, издательство "Мир", 1978.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ РАБОЧЕГО ТЕЛА В КОМПРЕССОРЕ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ НАВЬЕ- СТОКСА, ОСРЕДНЕННЫХ ПО РЕЙНОЛЬДСУ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ**

**С.С. Иванова  
ПАО «Кузнецов», г.Самара, gnomilik@mail.ru**

*Проведён CFD анализ компрессора низкого давления с применением моделей турбулентности наиболее распространенных для подобных задач. Полученные результаты сравнены с экспериментальными данными.*

*Conducted CFD analysis by the low-pressure compressor with the most common turbulence models for such problems. The results obtained are compared with experimental data.*

Целью работы является формирование численной модели компрессора низкого давления (КНД) в программном комплексе, предназначенном для проведения трёхмерного моделирования и расчёта лопаточных машин, настройка решателя, проведение расчёта модели на детальной сетке при различных моделях турбулентности.

Моделирование проводилось в рамках стационарного подхода с плоскостью смешения, на которой происходило осреднение параметров потока вдоль шага.

На основании полученной трёхмерной расчётной модели был выполнен газодинамический расчёт КНД с применением моделей турбулентности наиболее распространенных для подобных задач.

В качестве моделей турбулентности при исследовании течений газа в осевых компрессорах применялись следующие модели турбулентности: двухпараметрическая модель SST, Спаларта – Аламарса и к- $\epsilon$ . Указанные модели турбулентности апробированы для решаемых задач в широком диапазоне изменения параметров и обладают высокой вычислительной эффективностью.

Модель турбулентности SST основана на уравнениях модели к- $\omega$  и была создана для высокоточного предсказания точки отрыва и размера отрывной зоны, появляющейся под действием неблагоприятного градиента давления благодаря учету эффектов переноса в выражении для вихревой вязкости. Для свободных сдвиговых течений SST модель идентична к- $\epsilon$  модели. SST унаследовала одно из главных достоинств к- $\omega$  модели – низкорейнольдсовый подход для моделирования в пристенной области, где она точная и устойчивая.

Для успешного моделирования течения рабочего тела в турбомашине с помощью модели турбулентности SST предпочтительно чтобы величина безразмерного расстояния до стенки  $y^+$  находилось в интервале от 0,001 до 1. В этом случае положение точки ламинарно турбулентного перехода описывается с хорошей точностью. Если величина  $y^+$  превышает 8, положение точки перехода будет сдвигаться вверх по потоку. При  $y^+$  менее 0,001 точка перехода переходит вниз по потоку.

Модель турбулентности к- $\epsilon$  является одной из наиболее известных моделей. Она была разработана для самого широкого круга задач и считается стандартной моделью в промышленности. Доказана её стабильность и численная устойчивость и хорошо известны условия, в которых она надёжно работает.

В ходе выполнения CFD расчётов были получены интегральные параметры КНД при различных моделях турбулентности. Полученные результаты сравнены с экспериментальными данными.

При использовании SST модели перебор расхода воздуха относительно экспериментальных параметров составил 0,3%, перебор степени повышения полного давления - 5%, перебор КПД - 0,9%.

Для модели Спаларта — Аламарса перебор расхода воздуха относительно экспериментальных параметров составил 0,36%, перебор степени повышения полного давления - 5%, перебор КПД - 0,1%.

Для к- $\epsilon$  модели недобор расхода воздуха относительно экспериментальных параметров составил 0,8%, недобор степени повышения полного давления – 0,2%, недобор КПД - 1,7%.

Выбор модели наиболее близкой к экспериментальной характеристике требует тщательного анализа. По всем трём интегральным параметрам в трёхпроцентный коридор проходит к- $\epsilon$

модель. Тем не менее, нельзя опираться только на количественные данные при дальнейшем выборе модели турбулентности для газодинамических задач, необходимо и качественное сравнение характеристик. Однако, здесь чёткого сходства не наблюдалось, так как в зонах пониженного и повышенного расходов для КПД и степени сжатия КНД наблюдается характерное сходство разных напорных веток. Поэтому для инженерных задач возможно применение всех трёх моделей турбулентности. В итоге, выбор модели турбулентности – остаётся спорным вопросом, так как для различных машин в зависимости от загруженности ступеней и других факторов, модель наиболее подходящая к конкретному изделию - индивидуальный вопрос.

Полученные результаты работы направлены на создание научно-методического задела для проектирования и оптимизации газогенераторов.

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ЧИСЛЕННОЙ СХЕМЫ РЕШЕНИЯ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ МЕТОДОМ ШАГОВОГО НАГРУЖЕНИЯ**

**Д.Р. Исламов**

**Научный руководитель – д.т.н., профессор М.Г. Персова  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, iidanil@yandex.ru**

*Реализована численная схема решения пространственной упругопластической задачи с конечными деформациями методом шагового нагружения для изотропного материала с условием текучести Мизеса. Произведена верификация программы на модельных задачах.*

*A numerical scheme for solving the static spatial elastoplastic problem under large deformations and isotropic material with von Mises yield criterion is implemented by a stepper loading method. The scheme was verified on model tasks.*

В задачах прочности нагрузки часто приводят к большим деформациям. В связи с этим практически необходимы разработка и развитие соответствующих численных схем. В настоящей работе реализована численная схема, приемлемая для упругопластических задач с конечными деформациями.

Связь малых напряжений с малыми деформациями определяется уравнением

$$d\sigma = D(d\varepsilon - d\varepsilon^{pl}). \quad (1)$$

В теории пластичности Мизеса заданы интенсивность касательных напряжений и интенсивность деформаций сдвига:

$$\tilde{\sigma}^2(\boldsymbol{\sigma}) = c_{\tilde{\sigma}} \boldsymbol{\sigma}^T \mathbf{M} \boldsymbol{\sigma}, \quad \tilde{\varepsilon}^2(\boldsymbol{\varepsilon}) = c_{\tilde{\varepsilon}} (\mathbf{R} \boldsymbol{\varepsilon})^T \mathbf{M} (\mathbf{R} \boldsymbol{\varepsilon}). \quad (2)$$

При этом выполняется ассоциированный закон пластического течения

$$d\boldsymbol{\varepsilon}^{pl} = (2/3) (c_{\tilde{\sigma}} / c_{\tilde{\varepsilon}})^{1/2} \mathbf{M} \boldsymbol{\sigma} d\tilde{\varepsilon}^{pl} / \tilde{\sigma} \quad (3)$$

и уравнение связи приращения интенсивности касательных напряжений с приращением интенсивности пластических деформаций сдвига [1]

$$d\tilde{\sigma} = E^*(d\boldsymbol{\sigma}) d\tilde{\varepsilon}^{pl}, \quad (4)$$

где коэффициент  $E^*(d\boldsymbol{\sigma})$  вычисляется исходя из кривой деформирования материала  $\tilde{\varepsilon}(\tilde{\sigma})$ .

Из соотношений (1) – (4) можно получить связь малых приращений напряжений с малыми приращениями деформаций [1], которая справедлива в случае нагружения или разгрузки вне предела упругости:

$$d\boldsymbol{\sigma} = \tilde{\mathbf{D}}(d\boldsymbol{\sigma}) d\boldsymbol{\varepsilon}, \quad (5)$$

$$\text{где } \tilde{\mathbf{D}}(d\boldsymbol{\sigma}) = \mathbf{D} \left( \mathbf{I} - \frac{\tilde{\mathbf{Z}}(\tilde{\mathbf{Z}}^T \mathbf{D})}{E^*(d\boldsymbol{\sigma}) + \tilde{\mathbf{Z}}^T \mathbf{D} \tilde{\mathbf{Z}}} \right), \quad \tilde{\mathbf{Z}} = \sqrt{2/3} c_{\tilde{\sigma}}^{3/4} c_{\tilde{\varepsilon}}^{1/4} \frac{\mathbf{M} \boldsymbol{\sigma}}{\tilde{\sigma}}.$$

В случае нейтрального нагружения или в пределах упругости  $d\boldsymbol{\varepsilon}^{pl} = 0$  и для приращений выполняется линейный физический закон:  $d\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{D} d\boldsymbol{\varepsilon}$ .

На каждом шаге квазистатического нагружения, методом простой итерации решаются уравнения равновесия с учетом физической нелинейности (5) и определяются приращения перемещений, деформаций и напряжений.

Методом конечных элементов [2] получена дискретизация уравнений равновесия по перемещениям в виде СЛАУ  $\mathbf{A}(d\boldsymbol{\sigma}) d\mathbf{q} = \mathbf{b}$  и проведена верификация [3] программной реализации схемы на модельных задачах с известными аналитическими решениями [4]: для балки с прямоугольным сечением – одноосное растяжение, гидростатическое растяжение, чистый сдвиг, растяжение по одной оси и сжатие по другой оси.

## Литература:

1. Отчет о ПНИ по теме: "Разработка программно-технических решений в области промышленного программного обеспечения для моделирования поведения элементов конструкций из современных материалов в экстремальных условиях при механических и немеханических воздействиях для решения задач проектирования авиакосмической техники" (№ гос. регистрации: 114112440083).
2. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач : учеб. пособие / Ю. Г. Соловейчик, М. Э. Рояк, М. Г. Персова. - : Сер. «Учебники НГТУ», 2007. - 896 с.

3. 3D modeling of thermo-mechanical behavior of composite-made nose caps of hypersonic vehicles / Y. G. Soloveichik, M. G. Persova, D. V. Vagin, T. B. Epanchintseva, P. A. Domnikov, K. V. Dundukova, V. K. Belov // (2016) Applied Thermal Engineering. - 2016. – № 99. – Р. 1152–1164. - DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.01.159.
4. Каудерер Г., Нелинейная механика. М.: Иностранной литературы, 1961. – 777 с.

## **ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ОБТЕКАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ШИПА ВОЗДУШНОЙ СТРУЁЙ В “ANSYS-FLUENT”**

**И.Д. Карпилов, Р.М. Мустафин**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Д.И. Пащенко**

**Самарский государственный технический университет,**

**г. Самара, igorkarpilov@mail.ru, ravid-bk211@mail.ru**

*В материалах работы рассмотрена задача обтекания цилиндрического шипа воздушной струёй. Для получения компьютерной модели данного процесса был использован программный продукт “Ansys Fluent”, который позволил получить наглядные результаты моделирования динамики потока.*

*The problem of flow around a cylindrical stud by air jet is considered. For computer models of this process the software "Ansys Fluent" is used, which allowed to get visual results of the modeling of flow dynamics.*

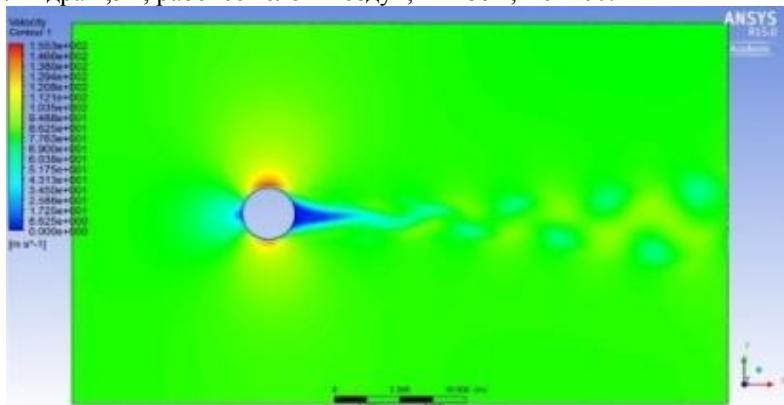
Сложность расчетов в вычислительной гидродинамики заключается в массивных системах уравнений, которые необходимо решать для того, чтобы построить математическую модель процесса. Именно это обусловило появление таких программных продуктов, как Ansys. Ansys – это универсальный программный пакет, предназначенный для решения огромного количества задач, в том числе задач механики жидкостей и газов.

Задачей настоящего исследования является изучение динамики обтекания цилиндрического шипа воздушной струёй для различных режимов течения жидкости. Исследование данного процесса имеет большое прикладное значение.. Полученные результаты могут быть использованы для разработки компактных теплообменников с ошипованными поверхностями нагрева, которые используются на промышленных предприятиях.

Процесс обтекания цилиндрического шипа жидкостью (воздухом) заключается в том, что при обтекании цилиндра образуется отрывное течение, так называемая вихревая дорожка Кармана [1]. Механизм такого явления объясняется следующими процессами: при поперечном

обтекании жидкостью круглого цилиндра весь поток можно разделить на две характерные части – внешнее (свободное) течение и пограничный слой вблизи поверхности. В определенный момент частицы, образующие обратное течение за цилиндром, отрываются от пограничного слоя, и появляется вихрь, движущийся по направлению потока. В экспериментальных исследованиях было показано, что регулярные вихревые дорожки образуются только в области чисел Рейнольдса примерно от 60 до 5000.

Для исследования динамики обтекания была разработана математическая модель в ПП Ansys для различных чисел Рейнольдса. Полученные результаты сравнены с экспериментальными данными. Начальные и граничные условия, используемые в модели: диаметр цилиндра 2,5м; рабочее тело – воздух;  $T=288\text{K}$ ;  $\text{Re}=200$ .



**Рисунок 1 Вихревая дорожка Кармана для  $\text{Re}=200$**

Результаты расчета для данных условий представлены на рис. 1. Полученная картина сравнена с вихревой дорожкой Кармана, полученной экспериментальным путем [2]. Можно сделать вывод о адекватности построенной модели.

Разработанную математическую модель можно использовать для изучения динамики обтекания для различных чисел Рейнольдса, разного количества шипов и их формы.

#### Литература:

1. Альбом течений жидкости и газа: Пер. с англ./Сост. М. Ван-Дайк. – М.: Мир, 1986. – 184 с., ил.
2. Аникеев А. А., Молчанов А. М., Янышев Д. С. Основы вычислительного теплообмена и гидродинамики. Учебное пособие. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – 152 с.

# **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ И ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ КРИСТАЛЛОВ МЕТОДОМ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ**

**С.А. Кислицын**

**Научный руководитель – д.ф.-м.н., проф. В.С. Бердников**  
**Новосибирский государственный технический университет,**  
**Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН,**  
**г. Новосибирск, 100рch@mail.ru**

*Численно исследована зависимость формы фронта кристаллизации воды от времени в прямоугольной полости, ограниченной двумя вертикальными стенками, одна из которых внезапно охлаждается до температуры ниже температуры кристаллизации.*

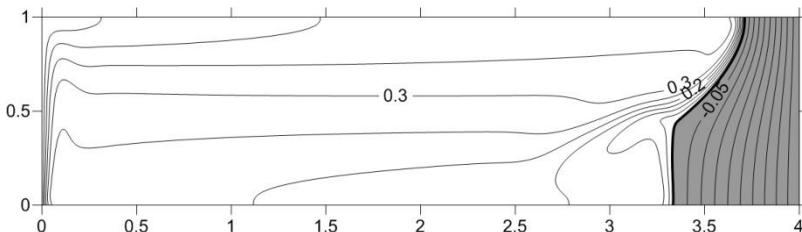
*Dependence of the form of a solidified front of water on a time in the right-angled chamber limited to two vertical walls numerically is researched. One of walls is suddenly cooled to temperature below a freezing point.*

На сегодняшний день спрос на монокристаллы оптических, полупроводниковых и других материалов растет. Одним из способов получения монокристаллов является метод горизонтальной направленной кристаллизации. Сложность и высокие затраты на проведение серий физических экспериментов, необходимых для оптимизации технологического процесса, побуждают использовать средства численного моделирования. Одной из проблем является учет инверсной зависимости плотности от температуры расплавов материалов, из монокристаллов которых изготавливают оптические приборы, работающие в ИК-диапазоне (например, кадмий-ртуть-теллур). Такой же зависимостью плотности от температуры обладает вода, поэтому логично использовать ее как жидкость имитатор расплавов в физических экспериментах.

В данной работе численно исследован процесс кристаллизации жидкости обладающей инверсной зависимостью плотности от температуры – воды. Задача решалась методом конечных элементов [1] в нестационарной двумерной сопряженной постановке в декартовых координатах с учетом локального выделения и поглощения тепла [2]. Расчетные области прямоугольные с различными отношениями высот к длинам. В начальный момент времени расчетная область состоит из воды, которая после охлаждения правой вертикальной стенки до температуры ниже температуры кристаллизации воды начинает кристаллизоваться. Противоположная стенка оставалась при начальных

значениях температуры системы, которые были выше температуры кристаллизации, но она оставалась при температуре или ниже  $+4^{\circ}\text{C}$  или в разной степени выше температуры инверсии в зависимости плотности воды от температуры (рис. 1).

Треугольная сетка сгущается с обеих сторон фронта кристаллизации. При продвижении фронта кристаллизации происходит перестроение сетки с сохранением сгущения на границе раздела жидкость – твердое тело. Для варианта геометрии расчетной области, показанной на рис.1, количество элементов составляло около  $10^5$ .



*Рисунок 1 – Поле изотерм в момент времени  $t = 6.235$ . Размер области  $200 \times 50$  мм. Перепад температуры  $-10^{\circ}\text{C} \leq T \leq 10^{\circ}\text{C}$ .*

В зависимости от уровня средней температуры системы и перепада температуры между вертикальными стенками менялась кривизна фронта кристаллизации. Кривизна фронта кристаллизации и темп роста массы затвердевшего вещества зависят от процессов сопряженного конвективного теплообмена на границе раздела фаз.

Расчеты были проведены с учетом и без учета теплоты фазового перехода. Полученные численные результаты сопоставлены с данными физического эксперимента. Полученные данные могут быть полезны при анализе процессов роста кристаллов методом горизонтально направленной кристаллизации веществ обладающих инверсной зависимостью плотности расплава от температуры.

*Работа выполнена при поддержке СО РАН (проект III.18.2.5. Гос. рег. 01201350443) и РФФИ (грант 15-08-07991).*

*За постановку задачи, анализ и обсуждение результатов выражаю благодарность научному руководителю д.ф.-м.н. Бердникову В.С.*

*Литература:*

1. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач // Ю.Г. Соловейчик, М.Э. Рояк, М.Г. Персова: НГТУ, 2007. 896 с.
2. Самарский А.А., Моисеенко Б.Д. Экономичная схема сквозного счета для многомерной задачи Стефана // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1965. Т.5. №5. с.816 – 827.

# ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННИХ ТОНКИХ ПЕРЕГОРОДОК НА СВОБОДНОКОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН В МОДЕЛИ АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВНОГО БАКА

С.А. Кислицын, К.А. Митин

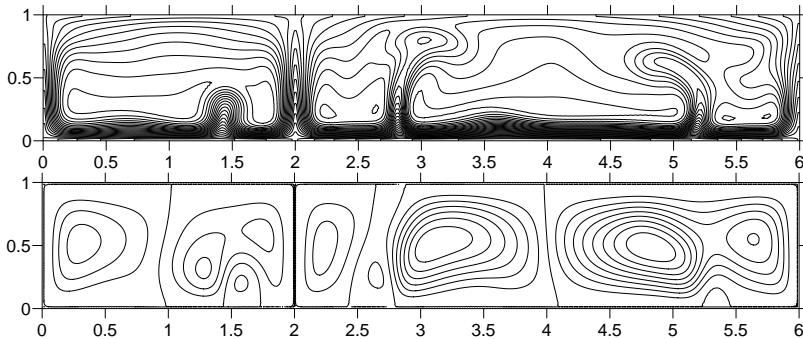
Научный руководитель – д.ф.-м.н., проф. В.С. Бердников  
Новосибирский государственный технический университет,  
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН,  
г. Новосибирск, 100рch@mail.ru

Численно, методом конечных элементов, в нестационарной сопряженной постановке исследовано влияние внутренних тонких перегородок различной теплопроводности на свободноконвективный теплообмен в модели авиационного топливного бака разогреваемого снизу равномерным тепловым потоком.

*The influence of internal thin walls with different thermal conductivity on natural convection heat transfer in a model of aircraft fuel tank is heated from bottom by a uniform heat flux was investigated numerically. The finite element method was used. The problem was solved in transient conjugate formulation.*

Для оценок и точного расчета термических напряжений и анализа общего напряженно-деформированного состояния конструкции летательного аппарата необходимы достоверные знания о закономерностях сопряженного конвективного теплообмена в конструкции с нестационарными условиями на внешних и внутренних поверхностях летательного аппарата [1]. В неравномерно нагретых объемах жидкости, находящихся в поле тяжести, развиваются свободно-конвективные течения [2]. При подводе тепла к стенкам бака нагретая жидкость всплывает и накапливается сверху. Существенное влияние на закономерности сопряженного теплообмена будет оказывать пространственная форма конвективных течений. В свою очередь форма конвективных течений в значительной мере зависит от конфигурации полости и расположения разогретых и охлажденных стенок и их фрагментов [3].

Численно в сопряженной постановке исследован нестационарный сопряженный теплообмен в прямоугольной модели полностью заполненного тонкостенного бака разделенного внутренней вертикальной перегородкой на два отсека 1/3 и 2/3 от объема бака. Боковые стенки и верхняя обшивка бака теплоизолированы. Нижняя обшивка разогревается под действием равномерного теплового потока. Расчеты проведены при различных теплопроводностях внутренней перегородки бака и теплофизических параметрах топлива T1.



*Рисунок 1 – Поле изотерм (сверху) и изолиний функции тока (снизу) в безразмерный момент времени  $t = 550$ . Число Прандтля  $Pr = 25.7$ , число Грасгофа  $Gr = 1000$ .*

Рассчитаны поля температуры, как в жидкости, так и в твердых стенках бака. Показано, что внутри твердых стенок конечной теплопроводности формируется неоднородное поле температуры. Изучена эволюция конвективных течений и полей температуры после внезапного подвода тепла под основание бака. Исследовано влияние внутренних вертикальных перегородок с различной теплопроводностью на пространственную форму конвективных течений и закономерности нестационарного сопряженного теплообмена.

*Работа выполнена при поддержке СО РАН (проект III.18.2.5. Гос. Рег. 01201350443) и РФФИ (грант 15-08-07991).*

*Выражаем благодарность научному руководителю д.ф.-м.н. Бердникову В.С. за постановку задачи, анализ и обсуждение результатов.*

#### Литература:

1. Белов В.К., Белов В.В. Прочность и устойчивость ракетных и авиационных конструкций при термосиловом нагружении. Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2011. 491 с.
2. Kutateladze S.S., Berdnikov V.S. Structure of thermogravitational convection in flat variously oriented layers of liquid and on a vertical wall // Int. J. Heat Mass Transfer. 1984. Vol.27. N9. P. 1595-1611.
3. Бердников В.С., Гришков В.А. Структура течения и теплообмен в вертикальных слоях жидкости в режимах термогравитационной и тепловой гравитационно-капиллярной конвекции // Сб. тр. Всероссийской конференции по аэродинамике летательных аппаратов и прочности авиационных конструкций. СибНИА, 17-19 июня 2008, Новосибирск, 2009, с.124-131.

# ВОЛНОВОДНЫЕ СВОЙСТВА ДВОЙНОЙ ОДНОМЕРНО-ПЕРИОДИЧЕСКОЙ РЕШЁТКИ ПЛАСТИН

А.П. Константинов

Научный руководитель – д.ф.-м.н., в.н.с. С.В. Сухинин

Институт Гидродинамики имени М.А. Лаврентьева СО РАН,  
г. Новосибирск, konstantinov@hydro.nsc.ru

Исследованы волноводные свойства двойной одномерно-периодической решётки тонких пластин для акустических колебаний. Найдены дисперсионные соотношения для волн, распространяющихся в направлении периодичности решётки, полосы пропускания и их зависимости от геометрических параметров задачи. Описано явление бифуркации волноводных частот по параметру расстояния между решётками. Рассмотрены синфазные колебания для двойной решётки пластин. Определены зависимости частот синфазных колебаний от геометрических параметров решётки, построен вид собственных колебаний, исследована их механика. Проведены сравнения полученных результатов с другими исследованиями.

Waveguiding properties of double periodic gratings for acoustic vibrations are studied. The dispersion relations and the passbands for waves propagating in the direction of periodicity are obtained. The phenomenon of waveguiding frequency bifurcation on distance between gratings is described. It is investigated sinphase acoustic vibrations about double periodic gratings. Forms and mechanics of eigenvibrations are described. Results obtained are compared with other investigations.

Задача о распространении волн около одномерно-периодических цепочек препятствий имеет важное прикладное значение в электродинамике, акустике, теории волн на воде. В качестве примеров можно назвать задачи распространения поверхностных волн вдоль береговых линий сооружений, подводных хребтов, электромагнитных волн в периодических структурах, а так же упругих волн в композитных средах. Примером акустических волн в периодических структурах могут быть волны в вентиляционных системах, гофрированных каналах, а так же колебания около решётки лопаток турбомашины, которые в рамках гипотезы плоских сечений моделируются как колебания около одномерно периодической решётки пластин [1].

В настоящей работе исследуется взаимовлияние двух одномерно-периодических решёток (рис. 1) на волноводные свойства системы для акустических волн. Рассматриваются установившиеся по времени колебания, описываемые уравнением Гельмгольца

$$\Delta u + \lambda^2 u = 0$$

с условием локальной конечности энергии в любой подобласти области колебаний

$$\int_{\Omega} |u|^2 + |\nabla u|^2 dx dy < \infty$$

и условием квазипериодичности в направлении  $y$

$$u(x, y+1) = \exp(i\xi)u(x, y)$$

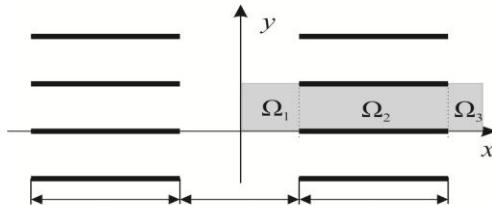


Рис.1 – Схема области колебаний.

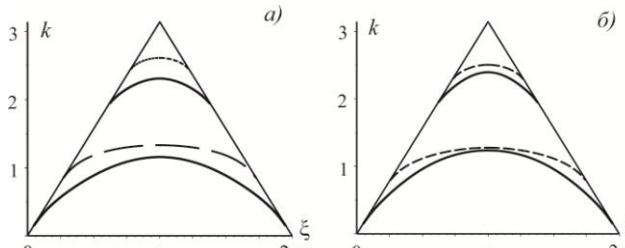


Рис.2 – Дисперсионные кривые. а)  $L=2$ ,  $d=0.25$ , б)  $L=2$ ,  $d=0.75$ .

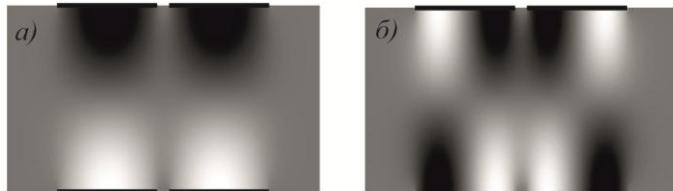


Рис.3 – Поле давления чётных мод синхронных колебаний.  $L=2$ ,  $d=0.75$ .

При этих предположениях найдены дисперсионные соотношения (рис. 2) для бегущих волн, описан эффект бифуркации волноводных частот для бегущих и стоячих волн. Построен вид собственных колебаний (рис. 3), исследована их механика.

Литература:

- Сухинин С.В. Волноводное и аномальное свойства периодической ножевой решетки // ПМТФ. - 1998. - № 6. - С. 46-56.

# О МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ В ГИБКИХ ЭЛЕМЕНТАХ ПРИ ШВАРТОВКЕ ГРУЗОВ

А.С. Кочетов

Научный руководитель – к.т.н. Д.А. Красноруцкий  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, krasnorutskiy@corp.nstu.ru

В работе представлена методика расчета усилий в гибких элементах при швартовке грузов. В основе этой методики лежит модель нити, для которой известно аналитическое выражение для координат и внутренних усилий. Решая численно полученную систему уравнений, получаем усилия во всех нитях.

The paper presents the method of calculation of tensile forces in the flexible element during mooring cargo. The basis of this technique is the ropes model for which known analytical expression for the coordinates and internal forces. Solving equations numerically the resulting system we obtain tensile forces of all the ropes.

Транспортировку грузов осуществляют с помощью морской, автомобильной, железнодорожной и авиационной техники. Авиацию используют для разных типов грузов, начиная от простого багажа, до самолетов и шаттлов. Такие грузы размещаются как внутри фюзеляжа [1], так и вне его. От качества закрепления зависит сохранность груза, целостность транспортника и даже жизни экипажа. Для фиксации груза используют сетки, ремни и цепи, при этом необходимо произвести предварительные расчеты швартовочных элементов на случаи разных перегрузок, в том числе, на случай жесткой посадки. Расчеты обычно проводят по специальным приближенным методикам и с помощью современных конечно-элементных пакетов.

В данной работе предлагается новый подход, основанный на моделировании швартовочных элементов нитью (рисунок 1), находящейся в поле сил тяжести [2, 3]. Для такой нити известно аналитическое решение.

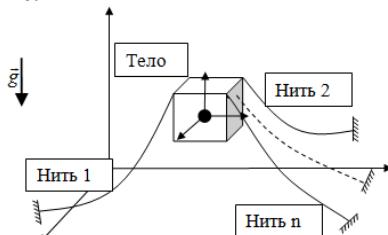


Рисунок 1 – Расчетная схема швартовки груза

В системе координат, связанной с началом нити, координаты всех точек нити под действием собственного веса в плоскости провисания выражаются следующим образом:

$$\bar{x}^*(u) = \frac{x^*(u)}{l} = \frac{u - u_0}{sh(u_l) - sh(u_0)}, \bar{y}^*(u) = \frac{y^*(u)}{l} = \frac{ch(u) - ch(u_0)}{sh(u_l) - sh(u_0)}.$$

Сила натяжения нити, а также проекции силы натяжения на оси глобальной системы координат выражаются следующим образом:

$$\frac{N(u)}{mg} = \frac{ch(u)}{sh(u_l) - sh(u_0)}, \frac{Q_x(u)}{mg} = \frac{1}{sh(u_l) - sh(u_0)}, \frac{Q_y(u)}{mg} = \frac{sh(u)}{sh(u_l) - sh(u_0)}.$$

Для позиционирования нити в пространстве используется дополнительный параметр, подлежащий определению. Это угол поворота плоскости провисания, относительно оси вдоль действия силы тяжести. За неизвестные величины принимаются:

- 1) три проекции вектора конечного поворота груза  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ ;
- 2) для каждой нити три величины:  $u_0^{(i)}, u_l^{(i)}$  – константы интегрирования и угол  $\alpha^{(i)}, i = 2,3,\dots,n$ .

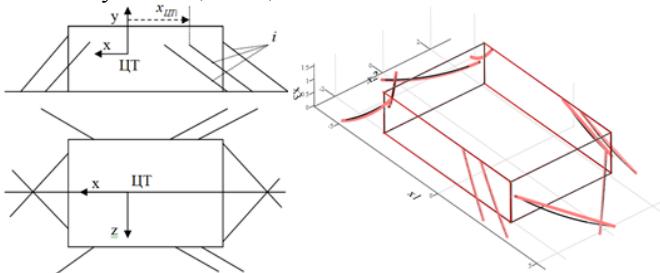


Рисунок 2 – Расчетная схема и деформированная конфигурация

По этим величинам можно рассчитать новое положение центра масс груза и вычислить усилия в нитях. На рисунке 2 представлена тестовая расчетная схема и рассчитанная конфигурация.

#### Литература:

1. Матовников А.Н. Размещение грузов внутри грузовой кабины транспортного самолета // Новые технологии в авиастроении: сб. науч. тр. – Ульяновск : УлГТУ, 2002. – С. 96-101
2. Н. В. Пустовойт, В. Е. Левин Механика деформирования криволинейных стержней. – Новосибирск: изд-во НГТУ, 2008. - 208 с.
3. Красноруцкий Д. А. Расчет параметров растяжимой нити, нагруженной собственным весом // Труды 14 Всероссийской научно-технической конференции «Наука. Промышленность. Оборона», посвященной 100-летию со дня рождения А. И. Покрышкина (24–26 апр. 2013 г.). – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2013. – С. 286-290.

# **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИ ПЕРЕЛЁТЕ С СЕЛЕНОЦЕНТРИЧЕСКОЙ ОРБИТЫ К ТОЧКЕ ЛИБРАЦИИ L2**

**B.B. Купцов**

**Научный руководитель – д.т.н., профессор О.Л. Старинова**

**Самарский Университет,**

**г. Самара, slava.trudu-kuptsov@yandex.ru**

*В работе рассматривается перелёт космического аппарата с электроракетной двигательной установкой с сelenоцентрической орбиты к точке либрации L2. В ходе работы разработан программный комплекс для моделирования движения КА, а так же проведён анализ возможных пассивных и активных траекторий.*

*In the paper the transfer of the spacecraft with electric propulsion system from lunar orbit to the libration point L2 was considered. During operation the software package for simulating the motion of spacecraft was developed, the analysis of the existence of several trajectories was carried out.*

В настоящее время возобновляется разработка российской лунной программы, которая подразумевает освоение Луны, а именно: создание «лунного полигона», включающего базу с обсерваториями.

Точка либрации L2 удобна для размещения коммуникационного спутника, так как в ее окрестности возможно остаться в пределах приемлемой дальности радиолиний, избегая влияния радиационных поясов и излучения Земли. Кроме того, возможно использовать ее как промежуточную заправочную станцию для перелётов к Марсу.

В работе рассматривается перелёт космического аппарата с электроракетной двигательной установкой (КА с ЭРДУ) с низкой сelenоцентрической орбиты к точке либрации L2. В соответствии с «Лунной программой», составленной Институтом космических исследований РАН в 2015г. на Луне будет создан «лунный полигон», включающий обитаемую базу с обсерваториями. А в окрестности точки либрации L2 планируется поместить коммуникационный спутник.

Применение ЭРДУ малой тяги обосновывается их экономичностью с точки зрения малого расхода рабочего тела по сравнению с двигательными установками большой тяги.

При перелётах в системе Земля-Луна, особенно в окрестности точек либрации, необходимо учитывать гравитационное воздействие Земли и Луны. Поэтому в данной работе движение КА описывается в рамках плоской круговой ограниченной задачи трёх тел с использованием инерциальной полярной барицентрической системы координат [1].

Задача удержания КА на гало-орбите относительно точки либрации L2 системы Земля-Луна рассматривалась в работе Nathan L. Parrish, Jeffrey S. Parker, Steven P. Hughes, Jeannette Heiligers [2].

В рамках данной работы был разработан программный комплекс предназначенный для моделирования и отображения движения КА в системе Земля-Луна с учётом гравитации Земли и Луны. Предусматривается одновременное отображение как барицентрического, так и сelenоцентрического движения. Моделирование управляемого движения проводится численно с использованием метода Рунге-Кутта 4-го порядка. С помощью данного программного комплекса было проведено исследование и анализ возможных траекторий движения КА с сelenоцентрической орбиты в окрестность точки L2.

Дальнейшее развитие исследований будет проводиться в направлении получения оптимального управления направлением тяги двигателей и изучения некомпланарного движения КА.

Литература:

1. Матерова, И.Л., Методика оптимизации перелётов космических аппаратов с двигателем малой тяги в системе Земля-Луна, дисс. канд. техн. наук: 05.07.09: защищена 26.12.13: утв. 18.02.14, М., 2013.
2. Parrish, Nathan L. low-thrust transfers from distant retrograde orbits to 12 halo orbits in the earth-moon system, Colorado Center for Astrodynamics Research, University of Colorado at Boulder, NASA Goddard Space Flight Center, Delft University of Technology, 2016.
3. Купцов, В. В. Вычисление линий уровня гравитационного потенциала. Моделирование и отображение движения системы Земля-Луна, Сб. научных трудов Международной молодёжной научной конференции «XIII Королёвские чтения», Самара, СГАУ, 2015.

## РЕШЕНИЕ ПРЯМЫХ И ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ГЕОЭЛЕКТРИКИ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ

**Д.Н. Курский, Д.С. Киселев, П.А. Домников**

**Научный руководитель – д.т.н., профессор М.Г. Персова  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, [kurskij.denis@gmail.com](mailto:kurskij.denis@gmail.com)**

*Разработан программный комплекс для решения обратных трехмерных задач электроразведки на постоянном токе. Решение прямой задачи выполнено с использованием метода конечных элементов на шестигранниках. Решение обратной задачи основано на минимизации функционала. Показано решение*

обратной задачи в области, содержащей целевой объект и неоднородный приповерхностный слой.

*The software was developed for the three-dimensional DC resistivity inverse problems in electrical prospecting. Forward modeling is implemented using the finite element method on hexahedral elements. The solution of inverse problem is based on the minimization of a functional. The inverse problem solution in the domain containing a target object and an inhomogeneous near-surface layer is shown.*

Научно-практическая значимость и ограниченное число программных продуктов для решения прямых и обратных задач геоэлектрики предопределили выбор темы данной работы.

Решение прямой задачи геоэлектрики на постоянном токе эквивалентно решению эллиптического уравнения:

$$\operatorname{div}(\sigma \operatorname{grad} V) = \operatorname{div}(J^{cm}), V|_{S_1} = V_g, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – удельная проводимость среды;  $V$  – скалярный потенциал электрического поля;  $J^{cm}$  – сторонний ток. Однородные краевые условия 2-го рода заданы на поверхности, где находится источник тока, так как ток в воздухе и из воздуха не вытекает.

Для решения прямой задачи был применен метод конечных элементов [1] на шестиугольниках с трилинейными базисными функциями. Решение обратной задачи геоэлектрики эквивалентно минимизации функционала:

$$I(\sigma) = \sum_{i=1}^N w_i^2 (\varepsilon_i^* - \varepsilon_i)^2 + \sum_{i=1}^M \Upsilon_i \Delta \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^M \Gamma_i \sum_{k \in I_i} (\sigma_i - \sigma_k)^2 \quad (2)$$

где  $w_i = 1/\varepsilon_i$ ,  $\Upsilon_i$  – параметр регуляризации для  $i$ -ой области;  $I_i$  – множество областей смежных с  $i$ -ой областью;  $\Gamma_i$  – коэффициент, для сглаживания значений проводимости в смежных областях,  $\varepsilon_i^*$  и  $\varepsilon_i$  – точное и численное значения в  $i$ -ом приемнике соответственно.

Для исследования была выбрана область  $\Omega = \{(x, y, z) | 0 \leq x \leq 2000, 0 \leq y \leq 10000, 0 \leq z \leq 1250\} \text{ м}^3$ , составленная из шестиугольников. Геоэлектрическая модель (рисунок 1(слева)) состоит из однородной вмещающей среды с  $\sigma_1 = 0.002 \text{ См}/\text{м}$ , приповерхностного слоя с  $\sigma_2 = 0.02 \text{ См}/\text{м}$  и глубинного объекта с  $\sigma_3 = 0.1 \text{ См}/\text{м}$ . Было задано 90 областей проводимости и решена прямая задача с тремя источниками тока, расположенными в точках (500,5000,1250), (1000,5000,1250) и (1500,5000,1250). Графическое решение обратной задачи представлено на рисунке 1 (справа).

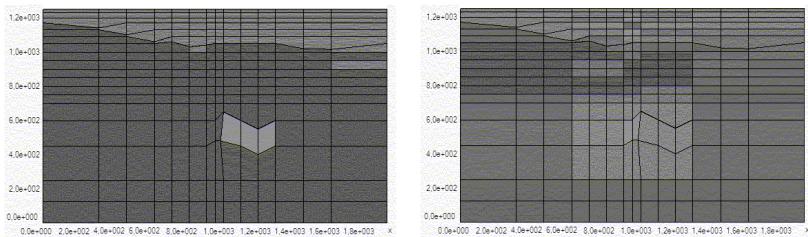


Рисунок 1 – Сечение исследуемой области плоскостью XZ (слева) и результат решения обратной задачи (справа)

Из рисунка видно, что полученные результаты распределения проводимости в целом описывают истинную модель. Однако глубинный объект увеличился в размерах (стал более «размазанным») ввиду того, что при решении обратной задачи проводимость соседних областей не должна была отличаться более чем в 10 раз, а также за счет влияния приповерхностного слоя. Полученная нами картина имеет менее ярко выраженный перепад проводимостей, при этом максимальное значение проводимости в обратной задаче было получено равным 0.091 См/м. Геометрия же верхнего слоя практически совпала с исходной.

Таким образом, был разработан программный комплекс, который позволяет по заданному набору параметров проводимости моделировать поле на поверхности исследуемой области, а так же по значениям поля в приёмниках вычленять глубинные объекты и с достаточной точностью определять их удельную проводимость.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (№ гранта МК-4858.2016.5).

#### Литература:

1. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач/ Ю.Г. Соловейчик, М.Э. Рояк, М.Г. Персова // Учебное пособие. Сер. «Учебники НГТУ». – Новосибирск: НГТУ, 2007. – 899 с.

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА БЕСТИГЕЛЬНОГО ИНДУКЦИОННОГО ПЛАВЛЕНИЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВА

В.Б. Демидович, М.Ю. Хацаюк, А.А. Максимов

Научный руководитель – к.т.н., доцент М.Ю. Хацаюк

Сибирский Федеральный Университет,  
г. Красноярск, [maksimovaleksij12@yandex.ru](mailto:maksimovaleksij12@yandex.ru)

*Путем сопряжения ANSYS и Fluent разработана численная модель процесса плавления цилиндрической заготовки в переменном электромагнитном поле. На основе построенной модели выполнен расчет и проведен анализ протекания физических процессов при бестигельном плавлении титанового сплава ВТ6.*

*By the integration of ANSYS and Fluent the numerical model of the cylindrical half-finished product melting process in the alternating magnetic field was developed. Basing on the developed model the calculation and analysis of physical processes during titanium alloy (6Al-4V) non-crucible melting was made.*

В настоящее время плавка и литье титановых сплавов производится в вакууме или инертной среде из-за высокой химической активности с воздухом. В связи с уникальными свойствами титана есть возможность получения жидкой фазы внутри цилиндрических заготовок при индукционном нагреве [1]. Данный способ открывает перспективы разработки принципиально новой технологии безвакуумного литья титановых сплавов. Реализация предлагаемой технологии требует тщательного выбора геометрических и энергетических параметров системы «индуктор – заготовка», а также режимов нагрева и выдержки.

На сегодняшний день существует несколько подходов к решению многофазной магнитогидродинамической задачи и способов их реализации. Одним из таких подходов является сопряжение программ ANSYS и Fluent [2]. Численное решение электромагнитной части реализована в ANSYS Multiphysics, термогидродинамическая часть задачи с учетом фазового перехода и турбулентных явлений во Fluent. Для сопряжения этих программ был разработан и реализован алгоритм обмена данными [3].

Математическая модель электромагнитной части системы «индуктор – заготовка» решалась в осесимметричной 2D постановке. Система уравнений, описывающих электромагнитное поле, состоит из уравнений на векторный и скалярный потенциалы и уравнения непрерывности. Система уравнений, описывающих термогидродинамические процессы, состоит из уравнений сохранения массы, движения и энергии. Для учета влияния процессов, протекающих при плавлении и затвердевании,

термогидродинамическая модель дополняется моделью кристаллизации и плавления, основанной на методе «энталпия–пористость». Для моделирования турбулентности была использована одна из разновидностей RANS моделей – Shear Stress Transport ( $k-\omega$  SST).

На основе построенной математической модели был проведен численный эксперимент по образованию жидкой фазы внутри заготовки из титанового сплава ВТ6 в электромагнитном поле 10 виткового индуктора с током 2500 А на частоте 4 кГц. Коэффициент черноты на поверхности заготовки был принят равным 0,5.

Полученное в результате решения задачи распределение концентрации жидкой фазы в объеме заготовки в различные моменты времени представлено на рисунке 1а. На рисунке 1б показана динамика процента жидкой фазы во всем объеме заготовки.

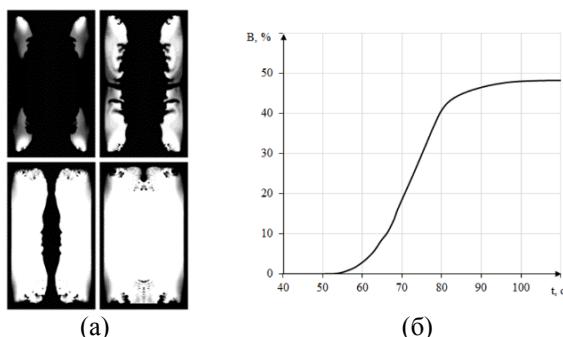


Рисунок 1 – Динамика образования жидкой фазы

#### Литература:

1. Демидович В.Б., Масликов П.А., Баранов Д.А. Технологии электромагнитного получения литых изделий из титана и титановых сплавов // Индукционный нагрев. – 2012. – №2(20). – С. 14-18.
2. Spitans S., Jakovics A., Baake E. Numerical modelling of free surface dynamics of conductive melt in the induction crucible furnace // Magnetohydrodynamics. – 2010. – № 4. – С. 425–436.
3. Khatsayuk M., Minakov A., Demidovich V., Pervukhin M. Mathematical modeling of casting processes in electromagnetic field // Magnetohydrodynamics. – 2015. – № 1. – С. 57-65.

# КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРУГОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРУЖИННОЙ КЛЕММЫ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИАЛЬНОГО ПОДХОДА

**С.А. Малаканов, О.С. Железков, В.А. Арзамасцева**  
**Научный руководитель – д.т.н., профессор О.С. Железков**  
**ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,**  
**г. Магнитогорск, samalakanov@mail.ru**

*Проведено исследование упругого деформирования пружинной клеммы, имеющей круглое, овальное, квадратное и прямоугольное поперечное сечение, при ее установке в рельсовое скрепление. Моделирование осуществлялось с использованием метода конечных элементов. Определено усилие упругого деформирования, напряженное состояние, найдены опасные сечения. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00026 мол\_а.*

*The investigation of the elastic deformation of the spring terminal having a circular, oval, square and rectangular cross-section, when it is installed in the rail fastenings. Modeling was performed using the finite element method. Search Results an elastic deformation force, the state of stress, dangerous section found. Research was done with funded by RFBR in the framework of a research project number 16-38-00026 mol\_a.*

Повышение эксплуатационных возможностей железных дорог при снижении затрат на их текущее содержание возможно путем перехода на упругие пружинные скрепления [1]. Повышение скоростей движения железнодорожных составов требует обеспечения стабильности положения рельсовых нитей и надежной связи рельсов с основанием. В связи с этим актуальной является задача по оценке эффективности конструкции пружинных клемм, применяемых в рельсовых скреплениях.

На основе критерия использования материала комплексного критериального подхода проектирования многопереходных процессов [2] проведена оценка конструкции пружинной клеммы «ЖБР» (диаметр 17 мм). В соответствии с требованиями нормативной и технической документации клемма при установке в скрепление должна иметь определенную жесткость - при величине монтажной затяжки (не менее 200 Н·м) «усы» клеммы должны упруго деформироваться (~15 мм) и касаться полимерных упоров, что соответствует 30 кН усилия затяжки.

Моделирование процесса упругой деформации клеммы осуществляли с использованием программного комплекса «DEFORM-3D», который базируется на численном методе решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, - методе конечных элементов [3]. Определяли энергосиловые параметры и

напряженно-деформированное состояние в термообработанной заготовке из стали марки 40С2А, кривая упрочнения которой построена при испытаниях на сжатие образцов с торцевыми буртиками (методика М.В. Растегаева). Расчетная схема включала три объекта: неподвижный инструмент (опора), подвижный инструмент (пуансон), клемму. Общее количество элементов достигало 300 тыс. единиц. Учет сил трения осуществлялся по закону Кулона-Амонтона, коэффициент трения  $f$  принимался равным 0,1. Рассматривалось четыре варианта поперечного сечения клеммы (круглое, овальное, квадратное и прямоугольное).

Получены данные о напряжениях и деформациях, возникающих как по длине клеммы, так и в её поперечных сечениях. Обнаружено две области характерного распределения напряжений в дуговых нашпальных участках в плоскостях, которые проходят через центры дуг под углом 45-60° от начала боковых протяжных участков, данные сечения можно считать опасными.

Были подобраны размеры поперечных сечений обеспечивают одинаковую жесткость клеммы при затяжке на нормативное усилие, но имеющие различную площадь поперечного сечения. Согласно критерию коэффициента использования металла комплексного критериального подхода наиболее рациональной является конструкция клеммы, имеющая прямоугольное поперечное сечение.

Адекватность применяемой математической модели проверяли путем проведения натурного эксперимента с сопоставлением результатов численного эксперимента. Натурный эксперимент осуществлялся с помощью электромеханической испытательной машины AG-50kNICD «Shimadzu» и специальной оснастки для осуществления процесса гибки. Сравнивая результаты натурного и численного экспериментов, было установлено, что погрешность не превышает 8 %.

#### Литература:

1. Шарапов, С.Н. Разработка и внедрение рельсовых скреплений / С.Н. Шарапов, В.Ф. Афанасьев // Ж.-д. транспорт. - 1996. - №7. - С. 47-51.
2. Железков, О.С. Поиск рационального формоизменения в многопереходных процессах пластической деформации на основе комплексного критериального подхода / О.С. Железков, С.А. Малаканов, С.О. Железков// Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 2015. - № 4. - С. 8-12.
3. Kobayashi S.Oh, Altan S.-I. Metal Forming and the Finite Element Method// Oxford University Press. - Oxford, -1989. - Vol. 1, №1. -377p.

# ПРИМЕНЕНИЕ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ВЕКТОРНОГО МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ НАВЬЕ-СТОКСА

С.И. Марков

Научный руководитель – д.т.н., проф. Э.П. Шурина  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, [www.sim91@list.ru](mailto:www.sim91@list.ru)

В работе приводятся результаты решения системы уравнений Навье-Стокса для несжимаемой жидкости с помощью стабилизированного векторного метода конечных элементов при использовании специального базиса векторного пространства Неделека  $H(\text{div})$ .

*Results of solving the Navier-Stokes equation system for noncompressible flow are given in the paper. The results are obtained by using a computational scheme of a stabilized vector finite element method with special vector basis functions of Nedelev's space  $H(\text{div})$ .*

Численное решение системы уравнений Навье-Стокса сопряжено с рядом математических сложностей, для преодоления которых требуется использование специальных подходов.

В данной работе приводятся оригинальная вычислительная схема стабилизированного векторного метода конечных элементов в трёхмерной постановке на тетраэдрах, результаты решения системы уравнений Навье-Стокса для задач, имеющих аналитическое решение, рекомендации по технологии выбора стабилизирующих параметров вычислительной схемы. Впервые исследована возможность применения вычислительной схемы на базе стабилизированного векторного метода конечных элементов со специальным векторным базисом пространства Неделека  $H(\text{div})$ , что позволяет выполнить условие Ладыженской-Бабушки-Брецци при использовании базисов первого порядка для аппроксимации поля давления и поля скоростей.

Работа поддержана стипендией президента Российской Федерации (приказ № 375).

Литература:

1. **E. Burman.** Stabilized Galerkin approximation of convection-diffusion-reaction equations: discrete maximum principle and convergence / E. Burman, A. Ern // Math. Comp., 74 (2005), pp. 1637–1652.
2. **E. G. D. Do Carmo.** A new upwind function in stabilized finite element formulations, using linear and quadratic elements for scalar convection-diffusion problems / E. G. D. Do Carmo, G. B. Alvarez // Comput. Methods Appl. Mech. Eng., 193 (2004), pp. 2383–2402.

# ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЗАПОЛНЕНИЯ ПОРИСТОГО ИМПЛАНТАТА КОСТНОЙ ТКАНЬЮ

**П.И. Москвитина, А.Э. Васькина**

**Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Ю.Н. Сидоренко  
Томский Государственный Университет,  
г. Томск, club@mail.ru@mail.ru**

*Рассматриваются вопросы интеграции пористых имплантатов с тканями живого организма. Для описания пористой структуры имплантата используется идеализированная геометрическая модель. Показано, что такая модель позволяет определить некоторые параметры процесса интеграции.*

*The paper discusses questions of integration of porous implants with living tissues. For a description of the porous structure of the implant used idealized geometric model. It is shown that this model allows defining some parameters of the integration process.*

В современной медицине при лечении некоторых заболеваний широко применяются имплантаты из различных материалов. Интеграция имплантата с тканями живого организма позволяет говорить об образовании нового специфического материала — биоматериала. Для повышения эффективности подобных методов лечения необходимо развивать методы моделирования и анализа таких биоматериалов. Интеграция имплантата с живой тканью реализуется за счет заполнения тканями организма пор, имеющихся в имплантате. С течением времени происходит образование плотных костных тканей в порах.

Однако, процесс прорастания костной ткани в пористых материалах весьма сложен. Связано это с множеством факторов, влияющих на функциональные свойства таких структур [1]. Возникает необходимость уделять особое внимание изучению проблем прорастания и приживления костной ткани в имплантате. В связи с этим, является актуальным развитие методов компьютерного моделирования пористых сред и протекающих в них процессов.

В рамках рассматриваемого подхода реальная структура пористого имплантата заменяется идеализированной геометрической моделью. При создании модели учитывается стохастическая структура пористого тела [2]. Модель содержит два типа объектов. Объекты I-ого типа характеризуют наличие крупных пор. Объекты II-ого типа используются для описания факта наличия межпоровых каналов и вычисления степени проницаемости среды между

соседними порами. Объекты обоих типов размещаются в модели случайным образом, что соответствует случайному характеру реальной структуры пористого тела. Вследствие этого степень проницаемости межпоровых каналов изменяется случайнным образом.

Результаты проведенных компьютерных экспериментов с описанной моделью среды позволили определить параметры модели при которых обеспечивается ее представительность. Показано, что модель такого типа может быть использована при определении параметров процесса интеграции имплантата с тканями живого организма.

Литература:

1. Путляев В.И. Современные биокерамические материалы // Соросовский образовательный журнал. – 2004. – Т. 8, № 1. – С. 44–50.
2. Васильев П.В. Моделирование пространственных структур методами стохастической геометрии // Научные ведомости БелГУ. – 2006. – №1(21), вып. 2. – С. 92-103.

## ТЕПЛОЕМКОСТЬ $C_p$ АРГОНА ПО ДАННЫМ МД-МОДЕЛИРОВАНИЯ

В.А. Мункуева, А.Б. Дабаева

Научный руководитель – преп. каф. ОФ Е.И. Герман  
Бурятский государственный университет,  
г. Улан-Удэ, valeria.munkueva@mail.ru

*Приведены результаты расчета теплоемкости  $C_p$  аргона, полученные в результате компьютерного эксперимента. Полученные результаты хорошо согласуются со справочными данными, на температурной зависимости теплоемкости прослеживаются фазовые изменения.*

*The results of the calculation of the heat capacity  $C_p$  argon obtained in the result of the computer experiment. The results from the well-reads the reference data, the phase change can be traced to the temperature dependence of the heat capacity.*

Температурная зависимость теплоемкости позволяет прослеживать фазовые переходы первого и второго рода [1]. Аргон инертен и, как следствие, имеет довольно низкую температуру кристаллизации и еще более низкую температуру стеклования, что делает практически невозможным исследование твердых фаз этого вещества эмпирически. В настоящее время для исследования теплофизических свойств материи широко применяется компьютерный эксперимент.

Большинство программ, работа которых основана на методе молекулярной динамики (МД), позволяют моделировать микроканонические и канонические ансамбли, что делает возможным расчет изохорической теплоемкости [2]. Расчет же теплоемкости изобарической  $C_p$  предполагает моделирование системы с меняющимся объемом при постоянном давлении, что требует применения модифицированных алгоритмов для МД. С этим связано довольно скучное присутствие результатов численных экспериментов по расчету  $C_p$  в литературе.

Для определения изобарной теплоемкости  $C_p$  проведено моделирование процесса охлаждения аргона от 200 до 15 К при постоянном давлении 5 МПа с помощью программы моделирования молекулярных систем MDDX11. Каждые 50 итераций моделирования программа сохраняла во внешний файл значения температуры, давления, плотности, кинетической и потенциальной энергии. По данным выходного файла производились все последующие расчеты.

Теплоемкость  $C_p$  рассчитывалась по зависимости энталпии от температуры в результате изобарного охлаждения:

$$C_p = \left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_p, \quad (1)$$

где  $H$  - энталпия системы, которая вычислялась по формуле

$$H = E + PV. \quad (2)$$

Результаты расчета приведены на рисунке 1.

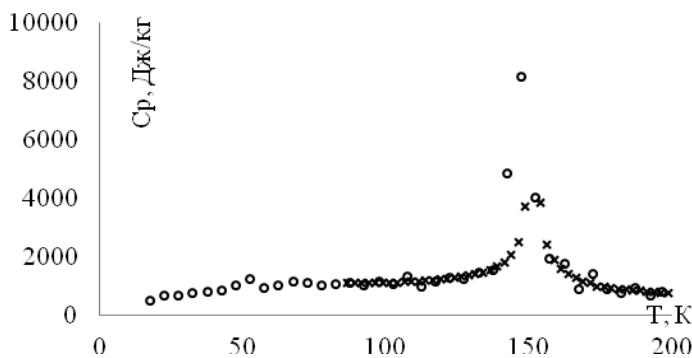


Рисунок 1. Изобарическая теплоемкость аргона при давлении 5 МПа: о – результаты компьютерного эксперимента, х – справочные данные.

На температурной зависимости теплоемкости четко выделяются области стабильных фаз: >160 К – газ, 60-150 К – жидкость, <55 К - твердое тело.

Полученные результаты хорошо согласуются с известными справочными данными [3].

Литература:

1. Мартынов Г.А. Классическая статистическая механика. Теория жидкостей, 2-е изд. Долгопрудный: Изд. дом «Интеллект», 2014. 328 с.
2. Хеерман Д.В. Методы компьютерного эксперимента в физике. – М.: Наука, 1990 – 176 с.
3. Thermophysical Properties of Fluid Systems [Электронный ресурс]. – URL: <http://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/> (дата обращения: 15.10.2016)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ДЛЯ ПРЕОДОЛЕНИЯ АСТЕРОИДНОЙ ОПАСНОСТИ

Е.А. Николаева

Научный руководитель – д.т.н., профессор О.Л. Старинова  
Самарский национальный исследовательский университет имени  
академика С.П. Королева, г. Самара, nikolaevalizaveta@mail.ru

*Выявлены параметры астероидов, сближающихся с Землёй. Рассмотрены методы преодоления астероидной опасности. Разработан программный комплекс в пакете Delphi, предназначенный для моделирования КА и астероида.*

*The parameters of the asteroids approaching with the Earth. Considered methods to overcome the aggressors. Developed a software package in the Delphi package, intended for simulation of spacecraft and asteroid.*

Астероидная опасность является серьезнейшим фактором экологического риска для нашей цивилизации и разработка мер по ее предотвращению должна стать одной из важнейших задач, которые должны быть решены человечеством в 21-м столетии.[1,с.141]

Целью моей работы является выявление параметров астероидов, сближающихся с Землей, поиск метода противодействия астероидной опасности и моделирование функционирования системы противодействия астероидной опасности.

К основным задачам противодействия астероидной опасности относятся:

1. Заблаговременное обнаружение и мониторинг движения потенциально опасных небесных тел.
2. Определение характеристик тел и оперативные оценки рисков.

3. Меры активного воздействия на угрожающее небесное тело.[2,с.3]

Мной были выбраны следующие методы противодействия:

1. Размещение на астероиде двигателя с солнечными источниками энергии, который использует в качестве рабочего тела вещество астероида. При этом изменяется масса астероида и на него действует сила тяги, и астероид отклоняется от опасной орбиты.

2. Размещение рядом с астероидом управляемого космического аппарата (тягача), который за счет гравитационного притяжения изменяет орбиту астероида.

Для моделирования этих процессов разработаны математические модели движения тел с изменяемой массой и тягой и разработан программный комплекс. С помощью программного комплекса была получена картина движения астероида.

Проанализировав проделанную работу, делаем выводы: для первого метода потребуется создание двигателей с заданными параметрами и разработка способа превращения вещества астероида в реактивное топливо (Рисунок 1). При моделировании первого метода задавались следующие характеристики:  $P=1\times10^5 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{с}^2$ ,  $m=1\times10^4 \text{ кг}/\text{с}$ ,  $c=10 \text{ м}/\text{с}$ . При расчетах с заданными параметрами реактивных двигателей, устанавливаем, что удается увести астероид с опасной орбиты за 10 лет.

Что касается второго метода с тяжелым космическим аппаратом: космические аппараты с такими расчетными характеристиками существуют и могут быть использованы в качестве преодоления астероидной опасности (Рисунок 2). При расчетах с характеристиками тягача равными:  $m=20000 \text{ кг}$ ,  $P=10 \text{ Н}$  и масс  $\alpha=0,2\times10^{-3} \text{ кг}/\text{с}$ , получаем, что увести астероид с опасной орбиты можно менее чем за 5 лет.

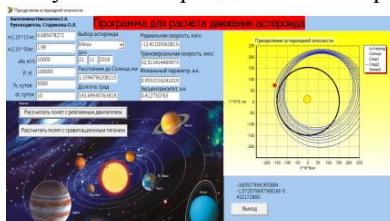


Рисунок 1—Орбита астероида под влиянием тяги реактивного двигателя, направленной по скорости

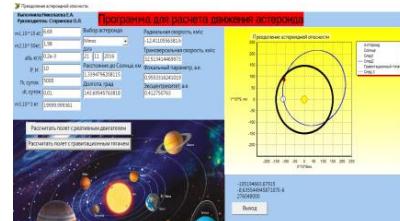


Рисунок 2—Орбита астероида под действием гравитационного тягача

## Литература:

1. Зайцев А.В., Некоторые принципы построения системы предотвращения столкновений Земли с астероидами и кометами. - М.: ИИЕТ АН СССР,1989. - С. 141-147.

2. Райкунов Г.Г., Астероидно-кометная опасность: российские космические проекты, состояние и перспективы // Совместное заседание Президиума Научно-технического совета Роскосмоса и Бюро Совета РАН по вопросу рассмотрения предложений о развитии работ по противодействию астероидно-кометной опасности. – 2010. - С. 1-11.

## РЕАЛИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНВЕРСИИ ДАННЫХ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ В ДВУМЕРНЫХ ОБЛАСТЯХ

**Д.Ю. Новицкий**

**Научный руководитель – д.т.н., профессор М.Г. Персова**  
**Новосибирский государственный технический университет,**  
**г. Новосибирск, Novlesnichiy@mail.ru.**

Целью данной работы является реализация метода геометрической инверсии данных МТЗ в двумерных областях. Был реализована прямая и обратная задача МТЗ в двумерной постановке. Выполнено тестирование программы на синтетических аналогах полевых данных.

The main purpose of this work is the realization of method of a geometrical inversion MTZ data in two-dimensional domains. Direct and inverse problem of MTZ in two-dimensional formulation was implemented. Program was tested on a synthetic analogue of the field data.

При реализации процедуры решения обратной задачи[1] прямая задача для расчёта поля очередного приближения геоэлектрической модели и для расчёта полей влияния её параметров решалась с использованием метода конечных элементов[2].

Для более точного нахождения аномального поля (поля влияния неоднородностей) использовался метод выделения поля, который заключается в разбиении задачи на две подзадачи – решение одномерной гармонической задачи МТЗ в горизонтально-слоистой среде и расчёт аномального поля влияния 2D неоднородностей[3].

При решении обратной задачи минимизировался следующий функционал с использованием метода Гаусса-Ньютона.

$$J(\sigma) = \sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^N \left( \delta\rho_{ij}(\sigma) \right)^2, \quad \delta\rho_{ij}(\sigma) = \rho_{ij}^* - \rho_{ij}(\sigma),$$

где  $L$  – это количество частот, на которых проводились измерения,  $N$  – это количество датчиков, а  $\rho_{ij}$  – значение кажущегося удельного сопротивления, полученное при  $j$ -й частоте на  $i$ -м датчике.

Решение обратной задачи проводилось на синтетических данных, полученных для модели, показанной на рисунке 1а, в диапазоне частот от 0,01 Гц до 1 Гц. В качестве неизвестных параметров брались проводимости участков неоднородного второго слоя, координаты верхней, нижней и боковых сторон четырёх блоков на которые был разбит целевой объект. Стартовая модель представлена на рисунке 1б. Итоговая модель, полученная в результате решения обратной задачи представлена на рисунке 1в.



рисунок 1а



рисунок 1б

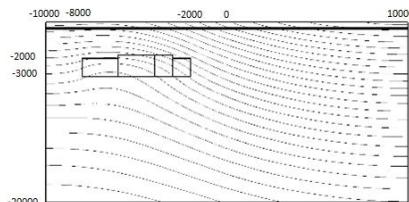


рисунок 1в

Модель, полученная в результате решения обратной задачи, (рис. 1б) была найдена за 192 итерации. Функционал невязки  $J(\sigma) = 0,4 * 10^{-4}$  и был понижен относительно стартовой модели более чем на 4 порядка.

Найденная модель близка к истинной, что подтверждает правильность разработанных программ и алгоритмов.

#### Литература:

1. Бердичевский, М.Н. Модели и методы магнитотеллурики / М.Н. Бердичевский, В.И. Дмитриев – Москва, 2009. – 780с.
2. Компьютерное моделирование геоэлектромагнитных полей в трехмерных средах методом конечных элементов / М. Г. Персова , Ю. Г.

Соловейчик, Г. М. Тригубович // Физика Земли. – 2011. – Т. 47. – № 2. – С. 3–14.

3. Соловейчик, Ю.Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач / Ю.Г. Соловейчик, М.Э. Рояк, М.Г. Персова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 896 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАПУСКА ГАЗОВОЙ СКВАЖИНЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИКРОТУРБИНЫ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ДЕБИТА

М.С. Павлючик

Научный руководитель – д.т.н., профессор С.Д. Саленко  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, pavlyuchik@corp.nstu.ru

Задача интенсификации добычи газа имеет первостепенную важность для нефтегазовой отрасли. Для решения проблемы предлагается воздействовать на призабойную зону среднечастотными волнами, возбуждаемыми скважинными источниками, работающими от газового потока. В работе предложена математическая модель газотурбинного привода, разработан экспериментальный стенд. Предложена математическая модель запуска газовой скважины.

The gas production intensification problem is of primary importance for the oil and gas industry. To solve this problem is proposed impact on the bottom zone midrange waves excited downhole sources, working from the gas stream. The paper presents the gas turbine drive mathematical model, experimental stand was developed. The mathematical model run gas wells was proposed.

Многие газовые месторождения вступили в позднюю стадию разработки, характеризующуюся снижением дебита вплоть до прекращения подачи газа. Возникает задача создания технологий, способных продлить жизнь месторождений и увеличить срок эксплуатации технических комплексов.

Для решения проблемы предложено воздействовать на призабойную зону газоносного пласта среднечастотными волнами, возбуждаемыми скважинными источниками, работающими от газового потока [1].

При разработке математической модели турбины необходимо учесть наиболее существенные факторы, влияющие на ее работу, и в то же время чрезмерно не усложнять поставленную задачу. В ходе работы был изготовлен действующий макет турбины и экспериментальный стенд, предназначенный для проведения комплексного исследования пневмотурбины. Стенд состоял из системы подвода воздуха к турбине и измерительной части.

Для выполнения расчетов тракт газотурбинного привода был разбит на участки. На каждом участке перепад давления мал, поэтому газ считался несжимаемым. От участка к участку необходимо учитывать изменение плотности, т. е. применим квазинесжимаемый подход [2].

В процессе запуска заглушенной скважины с установленным газотурбинным приводом реализуется неустановившийся режим с возможными забросами давления и мощности на турбине, что может привести к поломке турбины.

Математическую модель запуска газовой скважины формулируем при следующих допущениях: характерное время неустановившегося течения много больше времени прохождения по скважине звуковой волны, следовательно, используем квазистационарную постановку, пренебрегаем неоднородностью газодинамических параметров по длине скважины и путевыми гидравлическими потерями; процесс течения в целом считаем изотермическим, процесс истечения через местные сужения – адиабатическим.

Скважина представляет собой совокупность емкостей, соединенных между собой отверстиями с регулируемыми площадями. Считается, что давление в 1-й емкости совпадает с давлением в забойной зоне. Расход притекающего к скважине газа находится из уравнения фильтрационных потерь в пласте.

В рассматриваемой задаче имеются ограничения:

- мгновенный перепад давлений на турбине не более 10 атм;
- мгновенная мощность на турбине не более 3 кВт;
- по установившейся скорости газа в струе за задвижкой не более 8 м/с.

При полностью открытом дросселе на турбине регистрируются недопустимо большие забросы давления. Рассчитано время открытия заслонки в зависимости от площади сечения на входе в газопровод. При уменьшении относительной площади проходного сечений до 10%, время открытия заслонки снижается в 2 раза с одновременным падением мощности на турбине лишь на 20%.

Литература:

1. Курленя М. В., Сердюков С. В. Интенсификация добычи нефти при низкочастотном вибросейсмическом воздействии. – М.: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2004. – №5. – С. 29-34
2. Гостеев Ю. А., Павлючик М. С., Саленко С. Д. Расчет нестационарного течения в газовой скважине при использовании микротурбины для увеличения дебита // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. - 2014. - № 1(646). - С. 36-45.

# АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ OPENACC НА ПРИМЕРЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ

**Р.В. Палкин, В.Л. Гойко**  
Лицей Томского Государственного Университета,  
г. Томск, Romangg81@gmail.com

*В статье проведен сравнительный анализ эффективности технологии параллельного программирования OpenACC в сравнении с OpenMP и MPI, на примере расчета уравнений газовой динамики.*

*The purpose of this article is to give a comparative efficiency analysis of the parallel programming technology OpenACC compared to OpenMP and MPI by solving gas dynamic equations.*

В настоящее время, ввиду высокой энергоэффективности и производительности, набирают популярность аппаратные ускорители вычислений. Технологии CUDA и OpenACC[1] применяются для использования GPU (Graphical Processing Unit) в качестве аппаратного ускорителя.

В данной работе проведены сравнение и анализ технологии OpenACC с OpenMP[2] и MPI[3] на примере расчета уравнений газовой динамики. Основой для построения расчетного алгоритма выступила разностная схема численного решения нестационарных уравнений газовой динамики с нахождением потоков по методу С.К. Годунова [4]. В качестве высокопроизводительного комплекса для проведения расчетов выступил суперкомпьютер “СКИФ Cyberia” на базе Томского государственного университета [5]. Использовались узлы с двумя шестиядерными процессорами Intel Xeon X5670, 48Гб оперативной памяти и графическим ускорителем Tesla GK210. Суть параллельного алгоритма при использовании технологии MPI заключается в разбиении расчетной области на число подобластей, равное числу процессоров. Каждый процессор обрабатывает свою подобласть и обменивается информацией с соседними процессорами. При использовании OpenMP, с помощью нескольких директив компилятора основный цикл расчетов был ускорен за счет параллельного выполнения итераций ядрами центрального процессора.

Оптимизируя программу при помощи OpenACC, код был незначительно изменен при помощи директив компилятора. Использованы три графических адаптера: Tesla GK210, GeForce GTX 570 и GTX 460.

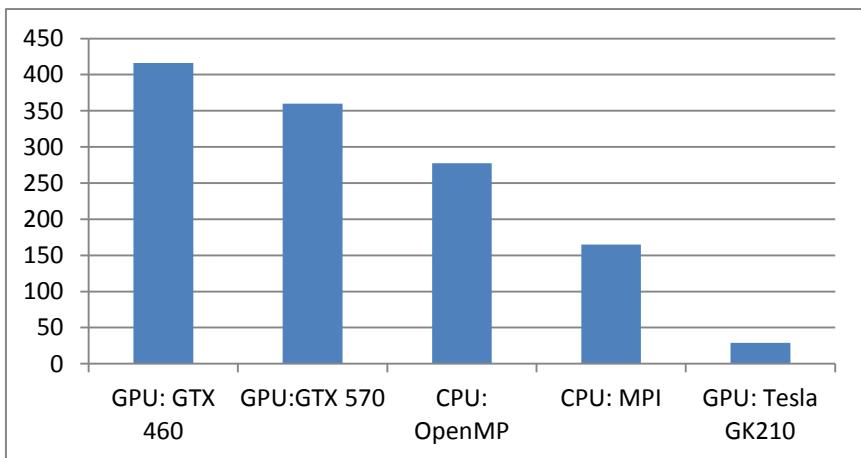


Рис.1 Общая сравнительная диаграмма.

На основе полученных данных составлена общая сравнительная диаграмма (Рис. 1), иллюстрирующая эффективность при использовании GPU в качестве вычислительного комплекса (OpenACC), при этом коэффициент ускорения достиг 71.2 по сравнению с временем выполнением на одном ядре Intel Xeon X5670. Высокий вычислительный потенциал графических процессоров и низкие трудозатраты при распараллеливании кода делают аппаратные ускорители наиболее оптимальным вариантом для ускорения вычислений, однако, только при условии размещения всей программы в памяти GPU.

#### Литература:

1. The OpenACC™ Application Programming Interface: 2013 - 74 с.
2. А.С. Антонов Параллельное программирование с использованием технологии OpenMP: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 2009. – 77 с.
3. Немнюгин С.А. Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем. \ Немнюгин С.А., Стесик О.Л. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 400с.
4. Годунов С.К. Численное решение многомерных задач газовой динамики.- М.: Наука, 1976. – 400 с.
5. Вычислительный кластер «СКИФ» Cyberia [Электронный ресурс] URL:<http://cyberia.tsu.ru/about/skif-cyberia-cluster/>

# ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ АППРОКСИМАЦИИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРУГОСТИ

И.И. Патрушев

Научный руководитель – д.т.н., профессор М.Г. Персова  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, LI-3208@mail.ru

Работа посвящена выбору наилучшей комбинации порядков функций, используемых для описания формы элемента и базиса подпространства, в котором строится конечноэлементная аппроксимация решения задач упругости. Исследуются возможности повышения точности расчётов напряжений по конечноэлементному решению при использовании согласованного результанта для различных типов конечных элементов.

*This paper is devoted to the selection of the best combination of functions' orders which are using to describe the element's shape and the basis of the subspace, in which a solution's finite element approximation of elasticity problems is making. Also researching the possibilities of increasing the accuracy of the finite element tension calculations for the solution using an agreed resultant of finite elements' various types.*

При использовании метода конечных элементов для решения краевых задач, описываемых уравнениями математической физики, необходимо выбрать подпространство, в котором будет строиться аппроксимация решения. Это подпространство определяется порядком базисных функций и формой конечных элементов. В данной работе исследуются иерархические базисы до третьего порядка и лагранжевы базисы для описания формы элементов до второго порядка включительно. От данного выбора зависит не только точность результатов, но и вычислительные затраты, поэтому ставится задача выбора оптимальной комбинации порядков функций, используемых для описания формы и базиса подпространства решения.

Сравнение аппроксимаций проводилось на задаче расчёта касательного напряжения на поверхности цилиндрического отверстия в упругой однородной пластине [1, 2]. Данная задача имеет аналитическое решение, и полученные конечноэлементные решения сравнивались с ним. В работе рассматриваются варианты задачи для изотропного материала и для анизотропных материалов пластины с разными углами ортотропии.

Поскольку математическая постановка задачи подразумевает расчёт не напряжений, а перемещений, которые связаны с напряжениями через соответствующие частные производные и матрицу преобразования локальной системы координат в глобальную, то для получения значений

напряжений необходимо вычислить производные конечноэлементного решения. Ввиду этого в работе исследуется построение согласованного результаита для всех рассматриваемых типов элементов, в котором сглаженная производная конечноэлементного решения представляется в том же базисе, что и конечноэлементное решение.

На рисунке 1 представлены графики аналитического решения (значений касательных напряжений), «прямой» выдачи значений напряжений как производных конечноэлементного решения и построенного согласованного результаита для двух комбинаций порядков базиса и форм для изотропного материала. На рисунке 1 $a$  видно, что для выдачи напряжений при использовании линейных базисных функций необходимо обязательно использовать согласованный результаит. При использовании квадратичных элементов (рисунок 1 $b$ ) согласованный результаит незначительно повышает точность расчётов, его использование не обязательно.

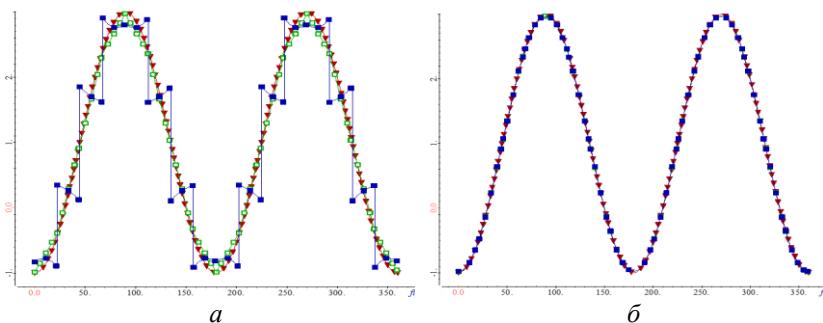


Рисунок 1 – Графики рассчитанных напряжений при использовании элементов первого порядка с линейными границами ( $a$ ) и элементов второго порядка с криволинейными границами ( $b$ ); аналитическое решение показано треугольными метками, конечноэлементное решение показано квадратными закрашенными метками, решение, полученное с помощью согласованного результаита – квадратными незакрашенными метками.

#### Литература:

1. S.G. Lekhnitskii, Theory of Elasticity of an Anisotropic Elastic Body, Holden-Day, San Francisco, 1963.
2. 3D modeling of thermo-mechanical behavior of composite-made nose caps of hypersonic vehicles / Soloveichik, Y.G., Persova, M.G., Vagin, D.V., Epanchintseva, T.B., Domnikov, P.A., Dundukova, K.V., Belov, V.K. // (2016) Applied Thermal Engineering, 99, pp. 1152-1164. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.01.159;

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СОПРЯЖЕННОЙ ЗАДАЧИ О КОЛЕБАНИИ СТЕРЖНЯ В НАБЕГАЮЩЕМ ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ

С.В. Погудалина

Научный руководитель – д.ф.-м.н., проф. Н.Н. Федорова

Новосибирский государственный технический университет,

Институт теоретической и прикладной механики им. Христиановича  
СО РАН, г. Новосибирск, pogudalina@inbox.ru

В работе представлены результаты численного 3D моделирования колебаний упругого стержня квадратного сечения, установленного по нормали к внешнему потоку и жестко закрепленного на подложке. Проведены связанные расчеты в расчетном комплексе ANSYS с использованием технологии двунаправленного сопряжения (2FSI). Исследован процесс колебания упругого стержня и найдено его напряженно-деформированное состояние. Построены графики максимальных перемещений стержня при скоростях 5 м/с и 10 м/с.

The paper presents the results of numerical 3D modeling of vibrations of an elastic rod mounted normal to the external flow and fixed rigidly to a substrate. The coupled simulation is performed with ANSYS software using the technology of bidirectional coupling (2FSI). The oscillations of the elastic model were revealed and stress-strain state was analyzed. Maximum displacement graphs of the rod were built at speeds 5 and 10 m/s.

Сопряженные физические процессы, в которых движение воздушной среды оказывает влияние на поведение деформируемых объектов, получили название «Взаимодействие потоков со структурами» (FSI). При больших деформациях объекта, необходимо учитывать обратное влияние деформированного объекта на внешнее течение (2 FSI).

С целью отработки 2 FSI методики решена 2D задача, в которой пластина в начальный момент времени деформировалась под действием приложенного давления [1]. В настоящей работе представлены результаты решения 3D сопряженных задач о колебании стержня квадратного сечения под воздействием внешнего потока воздуха со скоростями  $U = 5$  и  $10$  м/с.

Моделирование проведено на основе трехмерных нестационарных осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье – Стокса, дополненных  $k - \omega$  SST моделью турбулентности. Процессы в твердом теле описываются нестационарными уравнениями теории упругости, условиями совместности деформаций и законом Гука.

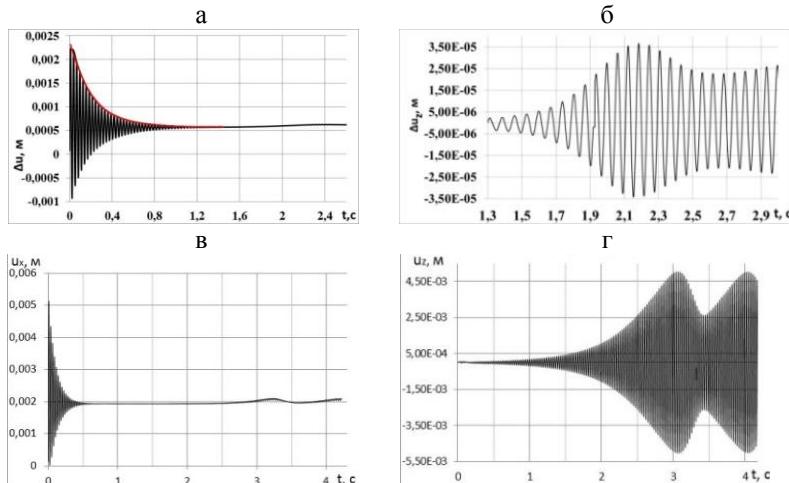


Рисунок 1-Максимальные продольные (а, в) и поперечные (б, г) перемещения стержня в зависимости от времени при скоростях 5 м/с (а, б) и 10 м/с (в, г)

Исходная геометрия представляет собой пространственный канал, внутри которого на подложке жестко закреплен стержень высотой  $h = 0.28$  м и сечением  $0.03 \times 0.03$  м. В качестве материала стержня использован модельный материал со свойствами, близкими к пенопласту,  $\rho = 40$  кг/м<sup>3</sup>,  $E = 12.7 \times 10^6$  Па и  $v = 0.35$ .

Для связывания гидродинамического и прочностного расчетов использован итерационный алгоритм сопряжения. На каждом шаге по времени отдельно решаются уравнения гидродинамики и прочности, затем через интерфейс происходит обмен данными между ними.

Из рисунка 1 видно, что при  $t < 1$  стержень совершает продольные колебания (а, в), амплитуда которых быстро затухает. Затем стержень совершает поперечные колебания (б, г), вызванные срывом вихрей в дорожке Кармана. При  $U = 5$  м/с максимальное продольное отклонение модели (а)  $\Delta u_x \max = 2.2 \cdot 10^{-3}$  м с частотой  $f_x = 34.48$  Гц, а максимальное поперечное отклонение (б)  $\Delta u_z \max = 3.7 \cdot 10^{-5}$  м при  $f_z = 14.09$  Гц. При  $U = 10$  м/с продольное отклонение модели (в)  $\Delta u_x \max = 5.13 \cdot 10^{-3}$  м с  $f_x = 35.7$  Гц и два одинаковых поперечных отклонения (г)  $\Delta u_z \max = 5.1 \cdot 10^{-3}$  м при  $f_z = 34.5$  Гц.

**Литература:**

1. Погудалина С.В., Вальгер С.А., Федорова Н.Н. Математическое моделирование колебания пластины в воздушной среде // Актуальные вопросы строительства: материалы всерос. науч.-техн. конф. – Новосибирск: Изд-во НГАСУ(Сибстрин), 2015. - С. 268-272.

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАЛЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ**

**А.С. Поливанова**

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент О.А. Доценко

Национальный исследовательский Томский государственный  
университет, г. Томск, [anya.poliwanowa@yandex.ru](mailto:anya.poliwanowa@yandex.ru)

Основными электродинамическими параметрами любого вещества являются диэлектрическая  $\epsilon$  и магнитная  $\mu$  проницаемости. Практическое использование существующих, а также разработка новых материалов требует точного контроля этих параметров, определяющих качество поглощения электромагнитной волны. Для их измерения и расчета в работе используется метод малых возмущений.

*The permittivity  $\epsilon$  and permeability  $\mu$  are the electrodynamics parameters of materials. The learning of materials electrodynamics parameters is necessary to its application in electronic technologies and design of new materials. They indicate the quality of absorption of electromagnetic radiation. It is necessary to know the values  $\epsilon$  and  $\mu$ . The small perturbation method is used for this purpose.*

Теория возмущений впервые была разработана для одной из старейших областей прикладной математики – небесной механики. Например, для описания движения планет теория возмущений в её изначальном смысле связана с разработкой различных способов учёта изменений движения.

Широкое распространение материалов, поглащающих сверхвысокочастотное (СВЧ) электромагнитное излучение, используемых в радиоэлектронной технике, приборостроении и других отраслях промышленности, определяет необходимость более глубокого исследования этих материалов, как с позиции эффективного применения, так и с позиции исследования их свойств [1].

Для расчета электродинамических параметров материалов из измеренных амплитудно-частотных характеристик возмущенной и невозмущенной измерительной системы (прямоугольного резонатора) используется метод малых возмущений [2]. При этом должно выполняться условие

$$\frac{\omega}{c} \times \sqrt{|\dot{\epsilon}| \times |\dot{\mu}|} \times d \leq \frac{\pi}{6},$$

где  $d$  – поперечные размеры образца;  $\epsilon$ ,  $\mu$  – характеристики исследуемого материала.

Авторы статьи [3] показали, что формулы для расчёта динамических электромагнитных характеристик образцов материалов, полученные с использованием метода малых возмущений и используемые большинством исследователей, дают погрешность в результатах измерения. Они пишут, что в этом методе считается, что внесение образца не изменяет структуру поля в резонаторе. Однако при внесении образца поле изменяется, и получаемые результаты всегда содержат ошибку. В своей работе авторы приводят измерения известного материала (полиэтилентерефталата) и полученные ими поправочные коэффициенты к измеренным значениям. Также на погрешность получаемых результатов оказывает влияние положение образца в резонаторе, о чём сказано в работах [3, 4].

На языке программирования MathCad нами был промоделирован объёмный прямоугольный резонатор с помещённым в него образцом цилиндрической формы. По формуле (1) был проведён расчёт изменения выхода частоты резонатора при внесении в его полость исследуемого образца.

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = -\frac{\dot{\epsilon} - \epsilon_0}{2\epsilon_0 V_r} V_s F, \quad (1)$$

Таким образом, проведя численное моделирование прямоугольного резонатора с исследуемым образцом, мы выяснили, что, изменение местоположения образца в полости резонатора приводит к изменению добротности системы, т.е. изменению суммарных потерь внутри резонатора, и это необходимо учитывать при расчете характеристик образца.

#### Литература:

1. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Наука. – 1978. – С. 145 – 253.
2. Суслиев В.И. Прямоугольный многомодовый сверхвысокочастотный резонатор // Методическое пособие. – Томск: Изд-во Томск. Ун-та. – 1994. – 23 с.
3. Nakamura T. Precise measurement of complex permittivity of materials for telecommunications devices / T. Nakamura, Y. Nikawa // Journal of

Telecommunications and Information Technology. – 2011. – Vol. 1. – N. 3. – P. 66 – 70.

4. Komarov V.V. Modeling control over determination of dielectric properties by the perturbation technique / V.V. Komarov, V.V. Yakovlev // Microwave and optical technology letters. – 2003. – Vol. 39. – N. 6. – P. 443 – 446.

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА  
ТЕПЛОПЕРЕНОСА С ФАЗОВЫМИ ПЕРЕХОДАМИ НА БАЗЕ  
МНОГОМАСШТАБНОГО РАЗРЫВНОГО МЕТОДА ГАЛЕРКИНА**

**С.Ю. Полищук**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.Б. Иткина  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, exsidia@gmail.com**

*В данной работе рассматривается процесс теплопереноса с фазовыми переходами. Для решения соответствующей задачи была разработана, реализована и верифицирована вычислительная схема на базе многомасштабного разрывного метода Галёркина.*

*In this work, we consider the heat transfer problem with phase changes. To deal with the problem we developed, realized and verified a numerical scheme on the basis of the multiscale discontinuous Galerkin methods.*

Процессы теплопереноса с фазовыми изменениями распространены повсеместно, как в природных, так и в технологических ситуациях. Типичными примерами таких процессов являются таяние льда, процессы плавления, сварки и литья металлов. Процессы такого вида имеют ряд отличительных особенностей: движение интерфейса (границы раздела фаз), а также высокие градиенты температуры в окрестности фронта [1]. Процессы с фазовыми переходами обычно описываются моделью Стефана [2]. Таким образом, для решения данных проблем необходимо разрабатывать специальный математический аппарат, который бы легко адаптировался к данному классу задач и позволял бы получить физически адекватное решение при минимальных затратах вычислительных ресурсов.

В работе предлагается вычислительная схема на базе многомасштабного разрывного метода Галёркина для двумерной задачи Стефана на треугольных конечных элементах. Вариационная постановка основана на декомпозиции пространства решения на сумму трёх подпространств: макроуровень, отвечающий за глобальное поведение решения, мезоуровень, позволяющий достаточно точно учесть свойства

включений, и микроуровень, учитывающий движение границы раздела фаз. На Рисунок 1 представлен пример разбиения расчётной области на соответствующие уровни.

В ходе работы были проведены исследования на классе модельных задач, имеющих аналитическое решение, и на классе задач, приближенных к реальным. Для моделирования процессов теплопереноса с фазовыми переходами был реализован соответствующий программный комплекс.

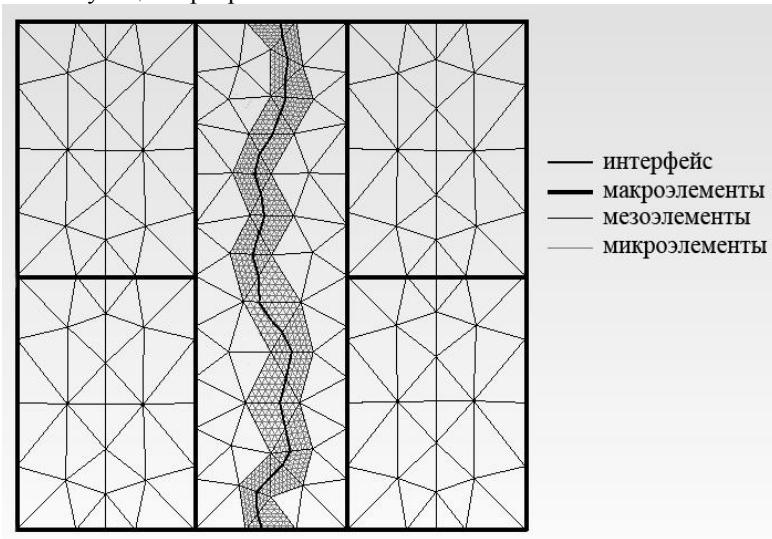


Рисунок 1. Разбиение расчётной области

#### Литература:

1. Zabaras N. and Ruan Y. A deforming finite element method analysis of inverse Stefan problems // International Journal for Numerical Methods in Engineering. – 1989 – Vol. 28, P. 295–313.
2. Stefan J. Über die theorie der eisbildung, insbesondere über die eisbildung im polarmeere // Annalen der Physik und Chemie. – 1891. – Vol. 278, N 2. – P. 268–286.

# УПРАВЛЕНИЕ ВОЗМУЩЕНИЯМИ ТЕЧЕНИЯ НА ПЛАСТИНЕ В ПОТОКЕ СМЕСИ КОЛЕБАТЕЛЬНО-ВОЗБУЖДЕННЫХ ГАЗОВ

А.И. Решетова

Научный руководитель – д.ф.-м.н., в.н.с. Т.В. Поплавская  
Новосибирский Государственный университет,  
г. Новосибирск, annarehetova29@gmail.com

В работе выполнено численное моделирование задачи взаимодействия внешних акустических возмущений со звукопоглощающим покрытием на пластине под углом атаки в гиперзвуковом ( $M_\infty=8,44$ ) потоке смеси колебательно-возбужденных газов.

*Numerical modeling of the interaction of the external acoustic disturbances with a sound-absorbing coating on the plate at an angle of attack in a hypersonic ( $M_\infty=8,44$ ) stream mixture vibrationally excited gas was performed.*

В условиях полета при высоких скоростях и температурах вокруг летательного аппарата проявляются свойства реального газа, которые оказывают значительное влияние на характеристики течения. В [2] показано, что процессы возбуждения и неравновесности колебательных степеней свободы молекул CO<sub>2</sub> оказывают существенное воздействие на развитие возмущений в гиперзвуковых пограничных слоях. Развивающимися возмущениями можно управлять с помощью звукопоглощающих покрытий [1].

В данной работе проведено численное моделирование развития возмущений в гиперзвуковом течении на плоской пластине (Рисунок 1а) и пластине со звукопоглощающим покрытием, обтекаемой колебательно-возбужденным потоком смеси углекислого газа и азота.

Численное моделирование выполнено на базе решения двумерных нестационарных уравнений Навье–Стокса в рамках модели термически совершенного газа [3]. Для моделирования неравновесности колебательных степеней свободы CO<sub>2</sub> использовалась двухтемпературная модель релаксационных течений, где изменение колебательной энергии от времени задавалось уравнением Ландау–Теллера с конечным временем колебательной релаксации молекул CO<sub>2</sub> при взаимодействии их друг с другом (первый канал колебательной релаксации) и при взаимодействии с молекулами азота (второй канал) [3].

Для построения звукопоглощающей зоны используется дискретная модель скелета из вспененного никеля с коэффициентом пористости 0,95, представляющая собой ячеистую структуру из дискретно расположенных квадратов (Рисунок 1б). Акустические возмущения

моделировались заданием суперпозиции стационарного течения и плоских монохроматических акустических волн.

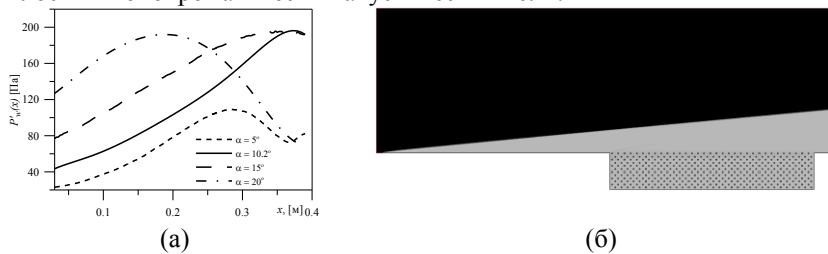


Рисунок 1 – (а) – Распределения среднеквадратичных пульсаций давления на сплошной пластине при воздействии акустической волны с частотой 120 кГц; (б) – поле давления на пластине со звукопоглощающей вставкой

В работе получены данные по динамике развития возмущений на сплошной пластине (Рисунок 1а) и пластине со звукопоглощающим покрытием, обтекаемой гиперзвуковым потоком колебательно возбуждённой смеси азота и углекислого газа под углом атаки. Показано, что звукопоглощающее покрытие на 10–20% ослабляет интенсивность пульсаций давления на поверхности пластины по сравнению со сплошной поверхностью. Получено согласие расчетных и экспериментальных данных по пульсациям давления.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-08-00674.

#### Литература:

1. Маслов А.А., Миронов С.Г., и др. Воздействие звукопоглощающих материалов на интенсивность возмущений в ударном слое пластины, расположенной под углом атаки. – ПМТФ, 2012. – Т. 53, №2, С. 21-32.
2. Кириловский С.В., Маслов А.А., Поплавская Т.В., Цырюльников И.С. Влияние колебательной релаксации на развитие возмущений в ударном слое на пластине. – ЖТФ 2015. – т.85, вып. 5, С. 12-22.
3. A.I. Reshetova, T.V. Poplavskaya, Evolution of disturbances in the shock layer on a flat plate in a flow of a mixture of vibrationally excited gases. – AIP Conf. Proc. 2016. – 1770, 030059. <http://dx.doi.org/10.1063/1.4964001>

# АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ МАШИНЫ

**И.А. Смольянов, А.А. Ромашин, Е.Л. Швыдкий**

**Научный руководитель – д.т.н., проф. Ф.Н. Сарапулов**

**Уральский Федеральный университет,**

**г. Екатеринбург, adskiibot@gmail.com**

*В данной работе производится анализ возможностей численных методов конечных элементов, конечных разностей, аналитический и детализированных схем замещений. Даются рекомендации по целесообразности усложнения исследуемой модели. Данна количественная оценка совпадения решений различными методами.*

*In this paper, an analysis of opportunities to numerical methods, finite element, finite difference, analytical and detailed schemes substitutions. The recommendations on the feasibility of the complexity of the model. A quantitative assessment of various methods of making a match.*

Современное развитие вычислительной техники в связи с развитием полупроводниковой техники в последние двадцать лет сделала большой скачок по возможности обрабатываемой информации. Благодаря этому моделирование физических процессов, как правило, нацелено на усложнения моделей для получения более точных результатов. В данной статье рассматривается целесообразность применение различных методов для расчета линейных индукционных машин (ЛИМ).

ЛИМ является несимметричной машиной, потому что возникают концевые, поперечные и толщинные краевые эффекты[1]. Данная электрическая машина не симметрична, поэтому не оправдано применять классические модели для круговой машины. В данной работе рассмотрены точности расчетов методом конечных элементов (МКЭ), методом конечных разностей (МКР), магнитных детализированных схем замещений (МДСЗ) и аналитический.

Анализ двух мерных задач МКЭ был проведен в отечественном пакете Elcut 5.1, программа для МДСЗ написана в пакете Mathcad. Результаты сравнение приведенные в (Таблице 1) дают хорошую сходимость различных пакетов. Распределение магнитной индукции (Рисунок 1) во вторичном элементе так же дают хорошую сходимость.

В работе [2] сравнивается аналитическое решение с МКР и МКЭ. В (Таблице 1) приведены результаты данного сравнения. Результаты практически совпадают, что говорит о возможности использовать все четыре метода рассматриваемые в работе.

Таблица 1 - Усилия во ВЭ

	Elctu (МКЭ)	Mathcad (МДС3)	Относительная разница
Нормальные Усилия, кН	5.956	6.605	9,8%
Тангенциальные усилия, кН	12.025	11.613	3,4%

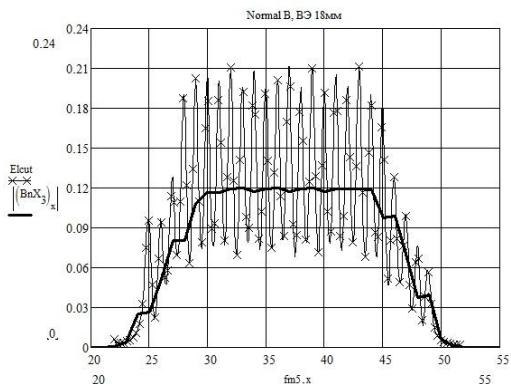


Рисунок 1 - Нормальная составляющая индукции в стальном слое ВЭ

Учет третьей координаты так же был исследован в трехмерной задаче с помощью МКЭ. Усилия на скольжении равном единицы расходятся не более чем на 15% в сравнении с ДМС3. Эти данные приведены для одноинукторных ЛИМ.

Усложнение формы приводит к значительному

увеличению времени расчета и требованиям к вычислительному аппарату. Поэтому на стадии проектирования не всегда целесообразно использовать наиболее точные модели. Во многих случаях хватает двухмерных постановок задач с учетом различных краевых эффектов с помощью коэффициентов. Например, коэффициент Болтона позволяет учесть поперечный краевой эффект во ВЭ[1].

Таблица 2 – Сравнение усилий тремя способами

Скольжение	Скорость м/с	Методы Расчета		
		Аналитический	МКР	МКЭ
1.0	0.0	0.222	0.220	0.218
0.8	0.4	0.191	0.192	0.188
0.6	0.8	0.153	0.155	0.151
0.4	1.2	0.107	0.112	0.107
0.2	1.6	0.055	0.063	0.057
0.0	2.0	0.000	0.010	0.004
-0.2	2.4	-0.055	-0.043	-0.050

**Литература:**

1. Сарапулов, Ф.Н., Ф.Н. Сарапулов, С.Ф. Сарапулов, П. Шымчак Математические модели линейных индукционных машин на основе схем замещения /. – 2-е издание, перераб. И доп. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. 431 с.
2. Сидоров О.Ю., Сарапулов Ф.Н., Сарапулов С.Ф. *Методы конечных элементов и конечных разностей в электромеханике и электротехнологии*. М. : Энергоатомиздат, 2010.-311с. ISBN 5-88151-529-3.

**CFD-МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСТЕЧЕНИЯ  
ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА ИЗ СОПЛА ЛАВАЛЯ В ПРОГРАММНОМ  
ПРОДУКТЕ ANSYS FLUENT**

**И.С. Соболев**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Д.И. Пащенко  
Самарский государственный технический университет,  
г. Самара, [ilya97sobolev@mail.ru](mailto:ilya97sobolev@mail.ru)**

*Произведено моделирование процесса истечения идеального газа из сопла Лаваля в программном продукте ANSYS Fluent. Построена расчетная геометрия сопла в приложении Design Modeler. Построена расчетная сетка с учетом особенностей сопла Лаваля. Получены зависимости: число Macha, распределения скорости в сопле. Полученные с помощью модели результаты достаточно точно подтверждаются экспериментальными данными.*

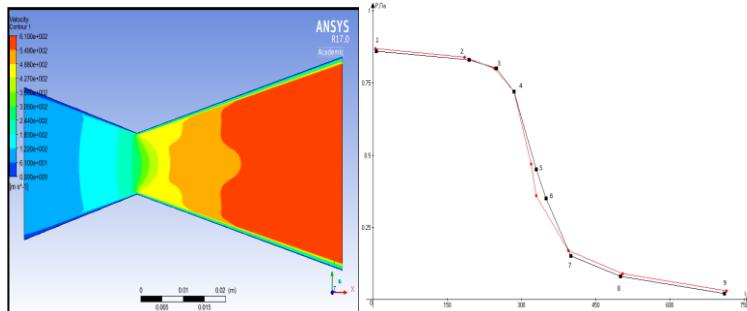
На данный момент делать расчет процесса истечения идеального газа из сопла Лаваля делать очень громоздко, но есть универсальное решение данной проблемы. Это программный продукт Ansys Fluent. С помощью данной программы мы можем за достаточно короткий срок времени произвести необходимые измерения с минимальной погрешностью от экспериментального метода. Расчет сопла для нестационарных режимов работы является достаточно сложной инженерной задачей. Упростить такие расчеты возможно за счет использования принципов CFD-моделирования (computing fluid dynamics). В настоящей работе приведен пример расчета сопла Лаваля в программном продукте ANSYS, а также произведено сравнение полученных с помощью компьютерной модели результатов с экспериментальными данными.

В рамках сложных процессов протекающих в сопле Лаваля, ANSYS помогает нам решить эти задачи вычислительной гидродинамики

При анализе течения газа в сопле Лаваля принимаются следующие допущения:

Газ считается идеальным; газовый поток является изоэнтропным (то есть имеет постоянную энтропию, силы трения и диссипативные потери не учитываются) и адиабатическим (то есть теплота не подводится и не отводится); газовое течение является стационарным и одномерным, то есть в любой фиксированной точке сопла все параметры потока постоянны во времени и меняются только вдоль оси сопла, причем во всех точках выбранного поперечного сечения параметры потока одинаковы, а вектор скорости газа всюду параллелен оси симметрии сопла; массовый расход газа одинаков во всех поперечных сечениях потока; влияние всех внешних сил и полей (в том числе гравитационного) пренебрежимо мало; ось симметрии сопла является пространственной координатой.

Начинаем с граничных условий. Выбираем ламинарную модель течения. Активируем модуль Energy во вкладке Models. В качестве модели воздуха выбираем идеальный газ. Задаем соответствующую плотность и температуру. Начальный шагом решения выбираем inlet(вход). Скорость равна 442.7859 м/с. Температура 202,5995.



**Рисунок 1 – Результаты CFD-моделирования динамики воздушного потока в сопле Лаваля сопоставленные с экспериментальным методом решения.**

Сопло Лаваля является универсальным средством разгона газового потока до сверхзвуковых скоростей. Данное исследование позволит гораздо быстрее и не отклоняясь от точностей приведенных в эксперименте получать до сотых схожие результаты.

#### Литература:

- Пашенко Д.И. Производство водорода в системах химической регенерации теплоты дымовых газов // Альтернативная энергетика и экология. – 2009. – №6. – С. 11-15.
- Часс С.И. Гидромеханика в примерах и задачах // Сопло Лаваля. –2006.–№4.–С. 154

# ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО КРОВОТОКА

Е.О. Соловьева

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент, с.н.с. Э.А. Бибердорф  
Новосибирский государственный университет,  
г. Новосибирск

*В данной работе предложен новый подход к решению актуальной проблемы компьютерного моделирования артериального кровотока. Он представляет собой параллельный алгоритм на основе схемы Мак-Кормака с использованием метода нелокального сглаживания. Такой метод сглаживания не только не уступает классическим, но и позволяет автоматически адаптировать сетку под решение.*

*Параллельный алгоритм ускоряет решение объемной задачи глобального моделирования артериальной системы и может быть применен в других сферах к краевым задачам для гиперболических систем, заданных на графах.*

*In this work new approach to the solution of urgent problem of computer modelling of arterial blood-groove is offered. This is a parallel algorithm on the basis of Mac-Cormac's scheme with use of a nonlocal smoothing method. Such smoothing method not only doesn't concede to classical one, but also allows to adapt automatically a grid to the decision.*

*The parallel algorithm accelerates the solution of a large problem of arterial system's global modelling and can be applied in other spheres to boundary value problems for the hyperbolic systems on graphs.*

Работа посвящена актуальной проблеме компьютерного моделирования артериального кровотока. В качестве математической модели используется 1D модель гемодинамики[1]. Следует отметить, что моделирование кровотока на всем артериальном дереве является ресурсозатратным, в частности, требует много вычислительного времени. Данную проблему можно решить путем распараллеливания. Однако, не каждый численный метод позволяет это сделать. Схема Мак-Кормака, которая используется в данной работе, не только допускает распараллеливание, но и имеет ряд других преимуществ.

Сглаживание решений является неотъемлемой частью алгоритма с использованием схемы Мак-Кормака. Мы предлагаем новый метод **нелокального** сглаживания, в основе которого лежит QR-разложение. Он основан на идеях академика Годунова С.К. и аналогичен методу регуляризации плохо обусловленных СЛАУ, описанному в [2]. Результаты экспериментов показали, что по некоторым показателям он превосходит классический метод усреднения. Несмотря на ресурсоемкость QR-разложения, в данном случае его применение

требуется только один раз. Кроме того, данный метод позволяет переходить от грубой сетки к более мелкой, если градиенты решения увеличиваются, и наоборот. Число пространственных разбиений по сосуду не является универсальным для всего дерева, а зависит от длины сосуда. Это позволяет экономить время расчетов на мелких сосудах. Сосуды связываются между собой только граничными условиями.

Возможность параллельного счета позволяет быстро решать задачи на структурах типа дерева, что будет востребовано в частности при развитии комплексной модели кровообращения человека на платформе BioUML, созданной совместно ИМ СО РАН и КТИВТ СО РАН [3]. Так же данный алгоритм может быть применен и к другим краевым задачам для гиперболических систем, заданных на графах.

#### Литература:

1. Иванова Л.Н., Блохин А.М., Маркель А.Л. Система кровообращения и артериальная гипертония: биофизические и генетико-физиологические механизмы, математическое и компьютерное моделирование. Новосибирск СО РАН 2008.
2. Бибердорф Э.А., Попова Н.И. Гарантиированная точность современных алгоритмов линейной алгебры. Новосибирск, издательство СО РАН, 2006.
3. Киселев И.Н., Бибердорф Э.А., Баранов В.И., Комлягина Т.Г., Мельников В.Н., Суворова С.Ю., Кривощеков С.Г., Колпаков Ф.А. Персонализация параметров и валидация модели сердечно-сосудистой системы человека // Математическая биология и биоинформатика, 2015, Т. 10, № 2.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЕССОВ ОТЖИГА ПОДЛОЖЕК GaAs МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

А.А. Спирина<sup>1</sup>, А.Г. Наставьяд<sup>2</sup>

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Н.Л. Шварц<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет,

<sup>2</sup>Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН,  
г. Новосибирск, ap.ivan.na@yandex.ru

*Предложена и реализована Монте-Карло модель Ленгмюровского испарения подложек арсенида галлия. С помощью этой модели исследовался высокотемпературный отжиг подложек GaAs с разной кристаллографической ориентацией. Даны оценка максимальных температур конгруэнтного испарения GaAs. Исследована зависимость температуры конгруэнтного испарения от длины террас вицинальных поверхностей GaAs.*

*Monte Carlo model of Langmuir evaporation of GaAs substrates was suggested and realized. Using this model simulation of high-temperature annealing of substrates with different surface crystallographic orientation was carried out. The maximum temperature of congruent evaporation was estimated. Dependence of congruent evaporation temperature on the terrace width was analyzed.*

Испарение материала подложки в вакуум называется свободным, или Ленгмюровским. В процессе Ленгмюровского испарения полупроводников  $A^{III}B^V$  на поверхности подложек образуются капли металлов III группы. Свое применение жидкые металлические капли нашли в технологии создания полупроводниковых нитевидных нанокристаллов, в капельной эпитаксии и в плазмонике. В настоящее время существует множество расчетных и экспериментальных работ, посвященных Ленгмюровскому испарению полупроводников  $A^{III}B^V$  [1-5]. Однако, исследования, посвященные Ленгмюровскому и равновесному испарению  $A^{III}B^V$ , имеют весьма разрозненный характер и не дают полного представления о процессах, протекающих при высокотемпературном отжиге этой группы материалов. Детальный анализ процессов, происходящих при высокотемпературном отжиге материалов  $A^{III}B^V$ , возможен с помощью моделирования методом Монте-Карло.

Моделирование осуществлялось с помощью вычислительного комплекса SilSim 3D [6]. Рассматривалась четырехкомпонентная система, состоящая из атомов As, атомов Ga в жидкой и твердой фазах и молекулярного мышьяка  $As_2$ . Основные процессы, рассматриваемые в модели: диффузия мышьяка и галлия по поверхности, десорбция молекул мышьяка и атомов галлия, образование и диссоциация  $As_2$ , формирование капель галлия, растворение атомов Ga и As в каплях галлия с последующей диффузией внутри капли и кристаллизация жидкого Ga на границе раздела капля-подложка. Каждый из этих процессов характеризовался своей энергией активации. Выбор энергетических параметров модели осуществлялся на основании литературных данных, а также с помощью согласования расчетных и экспериментальных температурных зависимостей равновесного давления галлия и молекулярного мышьяка [7] и растворимости мышьяка в жидком галлии [8, 9]. С помощью этой модели исследовались процессы высокотемпературного отжига подложек GaAs(111)A и GaAs(111)B. Были определены области температур, в которых наблюдались процессы конгруэнтного и неконгруэнтного испарения. Даны оценка максимальных температур конгруэнтного испарения. Наименьшее значение  $T_c$  наблюдалось на поверхности GaAs(111)B, а наибольшее на поверхности GaAs(111)A. В области неконгруэнтного испарения на поверхности

образовывались капли галлия, подтравливающие подложку. Скорость травления поверхности GaAs(111)B оказалась меньше, чем GaAs(111)A. Было показано, что температура конгруэнтного испарения зависит от ширины террас. Минимальное значение температуры конгруэнтного испарения соответствует поверхностям с наименьшим расстоянием между ступенями. По мере увеличения ширины террас температура конгруэнтного испарения увеличивается и перестает меняться, начиная с некоторого значения ширины террас.

#### Литература:

1. Chatillon Ch., Chatain D. Congruent vaporization of GaAs (s)//J. Crystal growth, V.151, (1995), pp. 91-101.
2. S.Kanjanachuchai, C. Euaruksakul Self-Running Ga Droplets on GaAs (111)A and (111)B Surfaces // ACS Appl. Mater. Interfaces 2013, 5, 7709-7713
3. S.Kanjanachuchai, C. Euaruksakul Direction and breakup of Self-Running In Droplets on Low-Index InP surfaces // Cryst. Growth Des. 2014, 14, pp. 830-834
4. Хухрянский, Ю.; Веремьянина, Л.; Комбарова, И.; Никишина, И. Сысоев, О. Кинетика Ленгмюровского испарения компонентов из фосфида и арсенида индия Журнал физической химии, 1997, 71, 870-874
5. Kanjanachuchai, S. & Photongkam, P. Dislocation-Guided Self-Running Droplets Crystal Growth & Design, 2015, 15, 14-19
6. А.В. Зверев, К.Ю. Зинченко, Н.Л. Шварц, З.Ш. Яновицкая. // Монте-Карло моделирование процессов роста наноструктур с алгоритмом планирования событий на шкале времени // Российские нанотехнологии. 2009. том 4. No. 3–4. стр. 85-93.
7. C Pupp, J.J Murray, R.F Pottie Vapour pressures of arsenic over InAs(c) and GaAs(c). The enthalpies of formation of InAs(c) and GaAs(c) // The Journal of Chemical Thermodynamics, 1974, 2, pp. 123 – 134.
8. Hall, R. N. Solubility of III-V Compound Semiconductors in Column III Luids // Journal of The Electrochemical Society, 1963, 5, pp. 385-388
9. T.T. Dedegkaev, V.A. Gorokhov, Yu. Ilyin, V.A. Moshnikov, V.A. Pustovov, Yu.M. Sosov, D.A. Yaskov. Cryst.Res.Technol. V. 21. No. 6. pp. 95-97. 1986

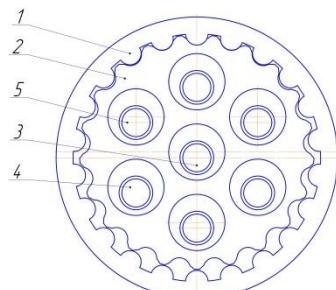
# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В РЕДУКТОРЕ С МОДИФИЦИРОВАННЫМ ПРОФИЛЕМ ЗУБА

**Д.Л. Степанова, П.А. Никулин**

**Научный руководитель – д.т.н., профессор П.Я. Крауиньш  
Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет, г. Томск, dasami2@mail.ru**

*В работе проведено исследование с целью определения максимально возможной деформации. Данная деформация может привести к заклиниванию редуктора. Для предотвращения данного явления необходимо заложить допуск на профиль зубьев. Значение этого допуска должно быть больше значения максимально возможной деформации.*

*Research of deformation of a reducer tooth for the purpose of ensuring working capacity. This deformation can lead to jamming and for prevention of this phenomenon it is necessary to appoint the admission to a profile of teeth. Value of the admission has to be more value of the greatest possible deformation.*



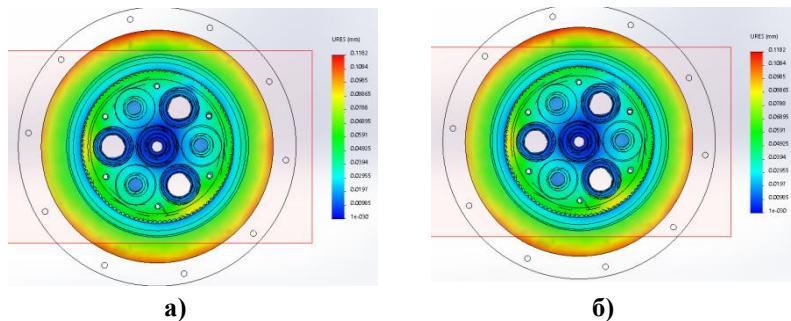
**Рисунок 1 – Схема редуктора: 1 – выходное подвижное колесо; 2 – шестерня; 3 – эксцентриковый вал; 4,5 – пальцы**

Схема редуктора с модифицированным профилем зуба изображена на рисунке 1. Модифицированный профиль зубьев колеса обеспечивает возможность создания передачи, у которой разница зубьев колеса и шестерни составляет один зуб, это является характерной особенностью данного редуктора. Использование подобного профиля и разница зубьев колеса и шестерни обеспечивает большую площадь контакта, по сравнению с эвольвентным зацеплением, что обеспечивает высокую нагруженную способность.

Рассмотрим работу редуктора при различных условиях работы, а именно изменение температуры окружающей среды от минус 50°C до плюс 50°C. Данные условия эксплуатации выбраны, исходя из технических требований.

Изменение температуры составных деталей редуктора приведет к их деформации. Деформация шестерни может привести к заклиниванию редуктора. Проведем исследование величины возможной деформации для зубчатого венца шестерни с целью исключить возможность заклинивания редуктора под действием температурных изменений.

Рассмотрим два условия работы. Первое условие: температура в зоне зацепления шестерни и колеса 90°C и температура окружающей среды минус 50°C (рис. 2а). Второе условие: температура в зоне зацепления шестерни и колеса 90°C и температура окружающей среды плюс 50°C (рис. 2б).



**Рисунок 2 – Эпюры деформаций при различных условиях работы:**  
а) первое условие; б) второе условие

Исследование проводим в среде Solid Works Simulation. Материал деталей редуктора примем одинаковым Сталь 40Х ГОСТ 4543-71. Допущены упрощения: подшипники заменены втулками также из данного материала. Значение максимального результирующего перемещения для первого условия работы составляет 0.1182 мм (рис. 2а), для второго условия работы составляет 0.1006 мм (рис. 2б).

Термический анализ выявил что, максимальное результирующее 0.01182 мм. Данное значение меньше значения нижнего предельного допуска, который составляет 0,02 мм, поэтому данное воздействие не приведет к заклиниванию редуктора.

Литература:

1. Краснощекое Н.Н., Федякин Р.В., Теория зацепления Новикова.- М.: Наука, 1976. -175 с.
2. Степанова Д.Л. Выбор и обоснование параметров привода лебедки, с автоматическим управлением // СТГ: сб. докл. - Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – Т. 1 - С. 283-284

# **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАРОТАЖА СКВАЖИН ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ**

**К.А. Сулейманова.**

**Научный руководитель – д.т.н., профессор М.Г.Персова  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, komila2006@gmail.com.**

*В данной работе представлено программное обеспечение для сопровождения экспериментальных технологий индукционного каротажа во временной области. Отличительной особенностью от существующих технологий в частотной области является то, что эти технологии обладают более высокой разрешающей способностью при необходимости «большего» охвата околоскважинного пространства и решения задач геонавигации.*

*The paper presents the software to support the experimental technologies of induction logging in the time domain. A distinctive feature as opposed to the existing technologies in the frequency domain is that these technologies have a higher resolution ability when a “greater” coverage borehole area is necessary to solve geo-steering problem.*

В ходе работы были реализованы конечноэлементные схемы моделирования осесимметричных полей во временной области для задач индукционного каротажа с перемещаемым вдоль вертикальной скважины источником. Также были разработаны и реализованы алгоритмы поиска горизонтальных и вертикальных границ геологического разреза, пересекаемой скважиной, а также значения электрической проводимости между этими границами на основе решения обратной задачи.

Для тестирования использовались синтетические данные, полученные для двухслойной геоэлектрической модели (рис 1) с параметрами:  $(z_1, r_1, \sigma_1, z_2, r_2, \sigma_2) = (-202.0; 3.0; 0.0666; -203.0; 3.0; 0.0133)$ .

Электромагнитное поле возбуждалось катушкой с током радиуса 0.108 м, которая перемещается вдоль скважины в диапазоне от -197 до -200 метров с шагом 1м. Измерения выполнялись в диапазоне времени  $[10^{-6}, 10^{-4}]$ . Приемная катушка с радиусом 0.108м находилась на 3м ниже катушки с током.

В качестве неизвестных параметров решения обратной задачи были взяты значения  $z_1, r_1, \sigma_1, z_2, r_2, \sigma_2$ . Начальное приближение неизвестных значений проводимости и координат были взяты равными  $z_1 = -201; r_1 = 5; \sigma_1 = 0.5; z_2 = -202; r_2 = 5; \sigma_2 = 0.5$

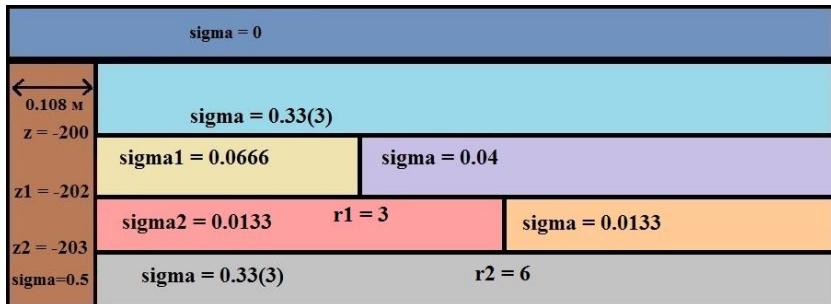


Рисунок 3 - расчетная область

Условия выхода из итерационного процесса:  $P(\sigma)_{new} < 10^{-10}$  или  $|P(\sigma)_{new} - P(\sigma)_{old}| < 10^{-5}$  или  $|\Delta\sigma| < 10^{-10}$ , где  $P(\sigma)$  – значения функционала.

В таблице 1 предоставлены результаты решения обратной задачи по итерациям.

Таблица 1 – Результаты решения обратной задачи

Итерация	Значение функционала	$z_1$	$r_1$	$\sigma_1$	$z_2$	$r_2$	$\sigma_2$
1	4.981e-002	-200.7	4.8	0.0537	-203.1	4.1	0.0340
2	1.564e-003	-201.8	5.3	0.0608	-203.0	2.4	0.0372
3	1.696e-004	-201.8	4.0	0.0599	-203.0	2.4	0.0239
4	1.287e-004	-202.1	3.0	0.0635	-203.0	4.0	0.0023
5	4.255e-005	-201.9	3.0	0.0665	-203.0	4.3	0.0191
6	1.678e-007	-202.0	3.0	0.0669	-203.0	4.3	0.0129
7	2.102e-012	-202.0	3.0	0.0666	-203.0	4.3	0.0133
<b>Истинные значения</b>		<b>-202.0</b>	<b>3.0</b>	<b>0.0666</b>	<b>-203.0</b>	<b>3.0</b>	<b>0.0133</b>

В результате решения обратной задачи все значения параметров восстановились точно, кроме границы  $r_2$ . Но так как эта граница разделяет слои с одинаковыми проводимостями (граница фиктивная), то найденное значение  $r_2$  нам не важно.

Литература:

- Соловейчик, Ю.Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач / Ю.Г. Соловейчик, М.Э. Рояк, М.Г. Персова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 896 с.

# БЕГУЩИЕ ПОПЕРЕЧНЫЕ ВОЛНЫ ВОЗМУЩЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ФРОНТА ГОРЕНИЯ

А.В. Трилис

Научный руководитель – д.ф.-м.н., проф., зав. лаб. А.А. Васильев

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН,

г. Новосибирск, trilisartie@yandex.ru

В рамках феноменологической теории горения смесей предложена модель малых возмущений и проведены исследования устойчивости цилиндрического фронта дефлаграционного горения в кольцевой камере сгорания. Изучена механика окружных поперечных волн возмущений, вращающихся в кольцевом канале. Результаты расчётов согласуются с экспериментальными данными.

*The model of small disturbances was proposed and the researches of stability of cylindrical front of deflagration combustion in annular combustion chamber were made using phenomenological combustion theory. Mechanics of circular transverse waves rotating in circular channel was examined.*

Создание двигателей (типа жидкостного реактивного и газотурбинного реактивного), использующих горение топлива в режиме детонации, является перспективным направлением, так как детонационный режим термодинамически более выгоден по сравнению с дефлаграционным режимом горения [1]. Профессор Б. В. Войцеховский был первым, кто предложил сжигать смесь в режиме **непрерывной** детонации с помощью поперечных вращающихся волн. Он реализовал данную идею на практике [2] в кольцевой камере сгорания при радиальной подаче смеси из центра. Исследования таких волн в кольцевых камерах сгорания выявили важную особенность – **скорость распространения редко достигает величины скорости идеальной детонации  $D_0$  и чаще всего лежит в диапазоне от  $D_0$  до скорости звука в продуктах детонации  $c_d$  (для газовых горючих смесей  $c_d \approx 0.55 D_0$ )**. Объяснения такому поведению до сих пор не существует. В силу такого поведения, поперечную детонационную волну принято называть **квазидетонационной**. Можно ожидать, что в этом случае немаловажную роль будут играть акустические свойства горячих продуктов детонации. Для ответа на вопрос о числовом значении скорости квазидетонационной волны и прояснения гипотезы об акустической природе этого явления в данной работе проведено численно-аналитическое моделирование акустических возмущений системы «исходная смесь - фронт горения - продукты».

В кольцевой камере сгорания скорость газа в режиме стационарного течения является **дозвуковой**, а поперечная волна горения инициируется

принудительно на определённом радиусе поперёк течения. Используя теорию экзотермического скачка [1], это позволяет смоделировать фронт горения как сильный разрыв газодинамических параметров, в котором радиальная скорость горения будет дозвуковой (волна дефлаграции). Считается, что длины волн возмущений много больше ширины зоны горения.

В результате расчёта получены функции (моды) и квазисобственные частоты колебаний (реальные значения определяют частоты колебаний, а мнимые значения квазисобственных частот определяют развитие колебаний по времени) системы «исходная смесь - фронт горения - продукты». Показано, что фронт горения всегда устойчив, если массовый расход подачи горючей смеси строго постоянен и не зависит от акустических возмущений. Обнаружено, что если в системе подачи горючей смеси возмущения давления или скорости подачи пренебрежимо малы, то существует дискретное множество частот и мод соответствующих колебаний, для которых фронт горения является неустойчивым. При помощи численно-аналитических исследований получена пространственная форма (вид) этих колебаний. Показано, что существуют радиальные и окружные колебания, растущие по времени.

Обнаружены вращающиеся окружные волны возмущения фронта горения с конечным количеством локальных пучностей («горбов») и определены линейные фазовые скорости вращения этих волн:

$$V_k^{(f)} = \frac{\operatorname{Re}(\omega_k)}{k} \cdot R,$$

где  $\omega_k$  – квазисобственная частота,  $R$  – радиус стационарного фронта горения,  $k$  – номер окружной моды, равный количеству «горбов». Качественное поведение рассчитанных скоростей соответствует экспериментальным данным.

По результатам работы можно заключить, что за распространение поперечной квазидetonационной волны в кольцевом канале отвечает развитие по времени неустойчивой окружной волны возмущения цилиндрического фронта горения.

Литература:

1. Митрофанов В.В. Детонация гомогенных и гетерогенных систем. - Новосибирск: Изд-во Ин-та гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, 2003. – 200 с.
2. Войцеховский Б.В. Спиновая стационарная детонация // ПМТФ. - 1960. - № 3. - С. 157-164.

# СМЕШАННЫЕ ВАРИАЦИОННЫЕ ПОСТАНОВКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДАРСИ

С.А. Трофимова

Научный руководитель – д.т.н., профессор Э.П. Шурина  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, svetik-missy@mail.ru

Предлагается и анализируется построение вычислительной схемы для задачи Дарси с использованием смешанной конечно-элементной аппроксимации на базе разрывного метода Галеркина. Рассматривается построение базиса для скорости в специальном функциональном пространстве  $H^{div}$ .

We propose and analyze a mixed finite element approximation for the Darcy flow based on discontinuous Galerkin method. We consider basis for the velocity from the special vector-valued function space  $H^{div}$ .

Смешанные вариационные формулировки на базе разрывного метода Галеркина являются одним из современных подходов для численного моделирования процессов просачивания жидкости (газа) через пористую среду под действием давления. Основная идея смешанного метода – это поиск решения на сумме функциональных пространств [1], что дает возможность отразить определенные аспекты задачи, однако порождает необходимость в детальном анализе смешанных постановок, выборе специального базиса из соответствующего конечно-элементного подпространства, а также построении специального решателя для дискретного аналога.

Модель Дарси описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} u = -K\nabla p \\ \nabla \cdot u = f \\ u \cdot n = g \end{cases} \quad (1)$$

где  $\Omega \subset R^n$  – ограниченная  $n$ -мерная область с границей  $\partial\Omega = \Gamma_D$ ,  $K$  – симметричный положительно определенный тензор.

Смешанная формулировка разрывного метода Галеркина имеет вид [2]: найти  $(u, p) \in V_h \times Q_h$  такие, что:

$$\begin{cases} \int_{\Omega} K^{-1}u \cdot v d\Omega - \int_{\Omega} p \nabla \cdot v d\Omega + \int_{\Gamma^0} [p] \{v\} ds + \int_{\Gamma^D} (pn) \cdot v ds - \theta \int_{\Omega} (K^{-1}u + \nabla p) \cdot v d\Omega = 0 \\ - \int_{\Omega} \nabla \cdot u q d\Omega + \int_{\Gamma^0} \{u\} [q] ds + \int_{\Gamma^D} u \cdot (qn) ds + \delta \theta \int_{\Omega} (u + K \nabla p) \cdot \nabla q d\Omega = \int_{\Omega} f q d\Omega - \int_{\Gamma^D} g q ds \end{cases}$$

Верификация разработанного программно-математического комплекса проводилась на задачах с аналитическим решением. Пусть расчетная область  $\Omega = [0,1] \times [0,1]$ , при этом на верхней и нижней границах области заданы первые краевые условия, а на боковых границах – вторые краевые; коэффициент проницаемости среды плотный,  $K = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix}$ , шаг сетки  $h = 0.05$ .

Аналитическая функция для давления:  $p = x^2(x-1)^2y^2(y-1)^2$ .

В таблице 1 представлены погрешности вычислений в норме  $L_2$ .

Таблица 1. Погрешность в норме  $L_2$

	Давление, $p$	$x$ -компоненты скорости, $u_x$	$y$ -компоненты скорости, $u_y$
Отн. погрешность	0.000129925	0.00204122	0.00182095
Абс. погрешность	2.0623e-7	2.50971e-5	2.23889e-5

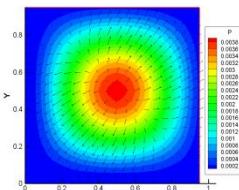


Рис. 1 – Численные поля давления

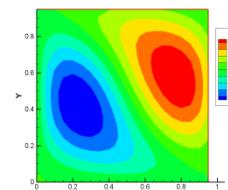


Рис. 2 – Численные поля  $x$ -компоненты скорости

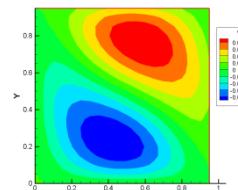


Рис. 3 – Численные поля  $y$ -компоненты скорости

Выполнено построение вычислительной схемы смешанной постановки на базе разрывного метода Галеркина для решения задачи Дарси с контрастным тензорным коэффициентом проницаемости среды. Рассмотрены несколько вариантов выбора численных потоков и изучены свойства полученных дискретных аналогов. Проведены вычислительные эксперименты на классе задач с гладким аналитическим решением.

Литература:

1. D. N. Arnold. Mixed finite element methods for elliptic problems // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. – 1990. – №82. – P. 281-300.

2. F. Brezzi, T.J.R. Hughes, L.D. Marini, A. Masud. Mixed discontinuous Galerkin methods for Darcy flow // *Journal of Scientific Computing*. – 2005. – Vol. 22 : № 1. – P. 119-145.

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ ХЛОРИДА ЦЕЗИЯ ИЗ ПАРА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ.

С.А. Трубачев

Научный руководитель – к.х.н. С.В. Валиулин  
Новосибирский государственный университет,  
г. Новосибирск, s.trubachev@gsu.ru

*Проведено исследование процесса образования(нуклеации) наночастиц хлорида цезия из пересыщенного пара. Используя экспериментальные данные и результаты численного моделирования процессов, происходящих в зоне образования наночастиц, были рассчитаны параметры нуклеации.*

*It was performed an investigation of the formation (nucleation) of cesium chloride nanoparticles from the supersaturated vapor. Using experimental data and results of the numerical simulation of processes occurring in a nucleation zone, nucleation parameters were calculated.*

Последнее десятилетие учёными активно изучаются механизмы образования наночастиц. Одной из причин изучения является то, что наночастицы обладают развитой поверхностью.

Известно, что термодинамические свойства межфазной поверхности могут быть полностью описаны с помощью функции состояния, называемой свободной удельной поверхностной энергией  $\sigma$ . В теории Гиббса эта величина называется поверхностным натяжением. Напрямую измерить  $\sigma$  наночастиц нельзя, но можно воспользоваться уравнением [1-2], связывающим  $\sigma$  и параметры нуклеации: скорость нуклеации  $J$ , температуру  $T$  и пересыщение  $S$ .

Таким образом, настоящая работа посвящена численному расчёту поверхностного натяжения образующихся при гомогенной нуклеации критических зародышей (наночастиц) хлорида цезия.

Чтобы получить наночастицы используется метод термопреципитации в реакторе с веществом (метод ламинарной проточной камеры). Этот метод основывается на пропускании пара через цилиндрическую трубку с холодными стенками. Пар, попадающий в зону с холодными стенками, становится пересыщенным (в силу уравнения Кельвина), что приводит к гомогенной нуклеации.

Параллельно с этим в камере происходят процессы диффузии к стенке, теплопередачи, конденсации, коагуляции.

С помощью данного метода в настоящей работе было выполнено экспериментальное изучение процесса гомогенной нуклеации пересыщенного пара хлорида цезия и определены: скорость нуклеации, температура и пересыщение.

Было проведено численное моделирование процесса образования наночастиц хлорида цезия в проточной камере с учётом всех существенных факторов, описанных выше. Для этого использовались уравнения массо-теплопереноса, скорости нуклеации, уравнение Кельвина. Показано хорошее согласие между результатами моделирования и экспериментально измеренными параметрами (концентрация и размер частиц на выходе из камеры, положение зоны нуклеации внутри камеры).

На основе полученных данных было рассчитано поверхностное натяжение  $\sigma$  образующихся при нуклеации критических зародышей. Оно оказалось на 30-35% выше поверхностного натяжения плоской поверхности  $\sigma_\infty$  хлорида цезия ( $T = 600$  С). Важно отметить, что, как было показано ранее, для веществ с металлическим типом связи отличие  $\sigma$  и  $\sigma_\infty$  может достигать 20-100%, а для веществ с неметаллическим типом связи, отличие слабое и составляет всего 5%.

Литература:

1. Vosel S.V., Onischuk A.A., Purtov P.A., Tolstikova T.G. Classical Nucleation Theory: Account of Dependence of the Surface Tension on Curvature and Translation-Rotation Correction Factor. - Aerosols Handbook, Measurement, Dosimetry and Health effects / Ed. by Ruser L.S. and Harley N. H., CRC Press, Taylor&Francis group, London New York, 2012 - Chapter 19 - P. 503-528

## ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗЕМНОЙ КОРЫ ЮЖНО-БАЙКАЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕЙСМОГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**Л.В. Цибизов, Ю.М. Романенко**

Научный руководитель – к.г.-м.н. П.Г. Дядьков

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. Трофимука,  
г. Новосибирск, [tsibizovlv@ipgg.sbras.ru](mailto:tsibizovlv@ipgg.sbras.ru)

В работе приводятся результаты численного моделирования поведения блочной среды на примере сейсмоактивного района в окрестности Южнобайкальской впадины и рассматриваются условия, при которых могла

осуществляется подготовка восьмибалльного Култукского землетрясения 2008 г.,  $M = 6.3$ .

*The paper proposes numerical modeling results of block medium behavior in the context of seismically active region in South-Baikal basin vicinity and considers a conditions where 8-score Kultuk earthquake 2008  $M = 6.3$  could be generated.*

Актуальность построения геомеханической блочной модели Южнобайкальской впадины обусловлена необходимостью изучения механизмов подготовки и генерации сильных землетрясений, которые регулярно происходят в данном районе. Результаты выполняемого здесь многолетнего мониторинга напряжений и деформаций (GPS, тектономагнитные, деформографические и др. наблюдения) могут служить основой для верификации такой модели.

Необходимым условием генерации сильных землетрясений является геомеханическая обстановка, позволяющая накопить значительные касательные напряжения, т.е. избежать их "преждевременной" разрядки. Возможный механизм такого накопления напряжений обеспечивает скеление блоков.

П.Г. Дядьковым [2013 г.] предложена модель подготовки землетрясения с зоной деформационной тени. Этот эффект, возникающий в блочной среде, может быть одним из принципиальных факторов генерации сильных землетрясений. Зона снижения сжимающих нагрузок (зона деформационной тени) может возникать при перераспределении напряжений вблизи неоднородностей даже при общем росте региональных напряжений. Южнобайкальская впадина является по ряду параметров благоприятной для проявления описанного эффекта - нарушенная складчатая зона, представимая в виде блочной среды, контактирует с относительно монолитной Сибирской плитой, постоянный рост напряжений обеспечивается Индо-Евразийской коллизией землетрясения с высокой магнитудой, одно из крупных зарегистрированных произошло в 2008 г. с магнитудой 6.3.

Блочная модель Южно-Байкальской впадины построена в пакете Comsol Multiphysics v. 4.4. Проскальзывание блоков относительно друг друга обеспечивается за счёт сильно пониженного в разломах по отношению к блокам модуля сдвига. В данной модели на сегменте Главного Саянского разлома (рис. 1а) (на котором около десяти лет наблюдалось сейсмическое затишье) возникает скеление соответствующего блока с Сибирской плитой, вследствие чего образуется зона деформационной тени (рис. 1в).

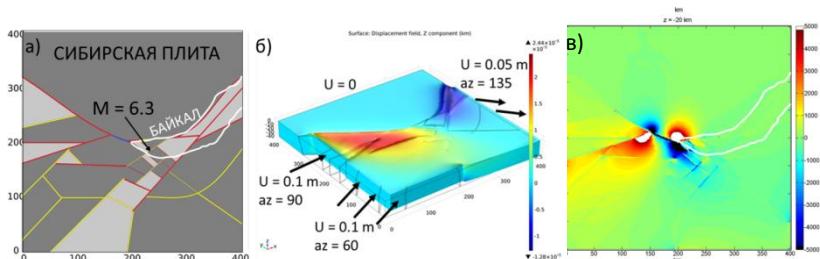


Рис. 1. Общий вид модели: а) «жесткие» блоки закрашены тёмно-серым цветом, «мягкие» блоки (светло-серым), «активные» разломы (красным), прочие разломы (жёлтым), область «зацепа» (синим); стрелкой обозначен эпицентр Култукского землетрясения 2008 г.  $M = 6,3$  б) приложенные внешние воздействия и смещения приведены в масштабе 1:25000 к размеру модели, цветом показано вертикальное смещение поверхности; в) рассчитанные изменения модуля всестороннего сжатия (срез на глубине 20 км)

Расположение эпицентра Култукского землетрясения 2008 г. отвечает зоне деформационной тени, что позволяет предположить, что описанный механизм мог иметь место при его подготовке.

Авторы благодарят информационно-вычислительный центр Новосибирского государственного университета за предоставленные вычислительные ресурсы. Работа поддержана Программой 18 Президиума РАН, проектом УШ.70.2.3.

#### Литература:

- Дядьков П.Г. О модели подготовки землетрясения с зоной деформационной тени // Физические основы разрушения горных пород: тезисы докладов IX Международной школы-семинара, Иркутск, 2-6 сентября 2013 г., ИЗК СО РАН, с. 35.

# РАСЧЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ И ВЕРТИКАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТ ПРИЛИВНЫХ СИЛ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СЕЙСМОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ЗЕМЛИ

Д.Л. Чубаров

Научный руководитель – д.ф.-м.н., проф. М.М. Немирович-Данченко  
Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет, г. Томск, convert008@mail.ru

*Исследование посвящено численному моделированию и расчету компонент приливных сил Солнца и Луны, их роли при подготовке землетрясений и влиянию на показания сейсмостанций.*

*This research is connected with modeling of vertical and horizontal components of Moon and Sun tidal forces, their role in preparation of earthquakes and influence on seismic stations*

Сила тяжести в каждой точке земной поверхности претерпевает с течением времени незначительные изменения в результате притяжения Луны и Солнца, изменения скорости и наклона оси вращения Земли, перемещения воздушных масс, изменения уровня океана и др. Из этих факторов, определяющих нестационарные аномалии силы тяжести, главными являются лунно-солнечные возмущения.

Действие притяжения Луны и Солнца проявляется в деформации поверхности, определяющей фигуру Земли. Величина и направление деформации в конкретной точке физической поверхности определяется взаимным положением Земли, Луны и Солнца.

В окончательном виде полная поправка к силе тяжести, вводимая в настоящее время на приливный эффект, определяется выражениями:

для вертикальной компоненты

$$\delta g_{\text{II}}^N = 1,2 f m_a \frac{a}{r_{\text{J}}^3} (\cos^2 z_a - 1) + 1,8 f m_a \frac{a^2}{r_{\text{J}}^4} (5 \cos^3 z_a - 3 \cos z_a) + (1)$$
$$+ 1,2 f m_C \frac{a}{r_C^3} (\cos^2 z_C - 1) + 0,457 f a \left( \frac{m_a}{r_a^3} + \frac{m_C}{r_C^3} \right),$$

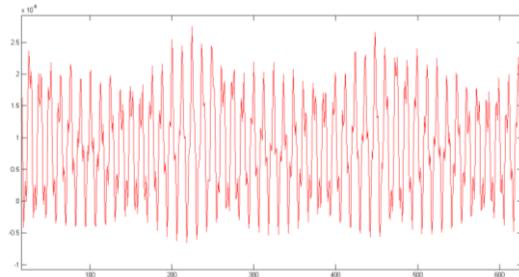
Для горизонтальной компоненты

$$\delta g_{\text{II}}^F = 1,8 f a \left( \frac{m_a}{r_a^3} \sin 2z_a + \frac{m_C}{r_C^3} \sin 2z_C \right) \quad (2)$$

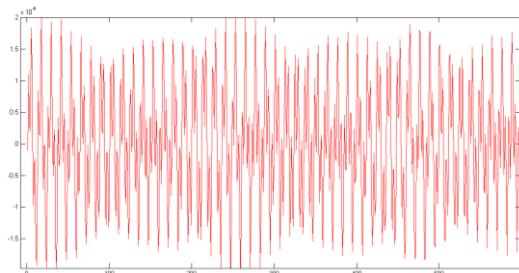
Далее необходимо принимать во внимание, что взаимное положение Луны и Солнца – величина переменная, поэтому для разных положений на одну и ту же точку будет оказываться разное суммарное воздействие. Для того, чтобы решить этот вопрос необходимо учесть изменение

расстояния от точки на поверхности Земли до Луны и Солнца, а так же изменения угла наклонения двух данных тел.

Учитывая выше представленные условия, была написана программа, рассчитывающая значения изменения вертикальной и горизонтальной компонент силы тяжести, вызванные лунно-солнечными приливными силами на заданной области координат, за заданный промежуток времени, значения которых представлены на рисунках 1 и 2.



**Рисунок 1 - Значения горизонтальной компоненты изменений силы тяжести в течение 600 часов**



**Рисунок 2 – Значения вертикальной компоненты изменений силы тяжести в течение 600 часов**

Литература:

1. Макоско, А.А. Панин Б.Д. «Динамика атмосферы в неоднородном поле силы тяжести». - СПб.: РГГМ У, 2002. - 245 с.
2. Кочнев В. А., Чубаров Д. Л., «Расчет и анализ триггерного эффекта приливных сил на наиболее крупные землетрясения» // Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 2. С. 59 – 64

**Секция МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ  
ОПТИМИЗАЦИИ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ  
РАДИОСИГНАЛА COST 231 HATA ДЛЯ Г. НОВОСИБИРСК**

**Р.В. Ахпашев**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент В.Г. Дроздова  
Сибирский государственный университет телекоммуникаций  
и информатики, г. Новосибирск, fzybotsogood@gmail.com**

*Эмпирические модели распространения радиосигнала используются операторами мобильной связи для прогнозирования зоны покрытия сети, в частности сети LTE. Одной из таких моделей является модель COST 231 Hata. В данной статье был разработан программно-аппаратный комплекс, позволяющий собирать информацию об уровне и качества радиосигнала, принимаемого мобильным устройством, в дальнейшем производить регрессионный анализ для расчета коэффициентов, позволяющих более точно определять функцию распространения радиосигнала для определенной местности, в частности, г. Новосибирск.*

*Empirical models are developed for considering such effects as diffraction, reflection and scattering caused by city structure. They predict the total path losses at signal propagation in cellular communication. In this paper, the authors have developed the hardware and software system that allows to calculate the correction factors for the empirical signal propagation model based on LTE measurements made by the mobile devices.*

Высокое качество обслуживания абонентов мобильной связи и широкий спектр предоставляемых услуг невозможны без качественного автоматизированного планирования и оптимизации сетей LTE [2]. В основе планирования лежат эмпирические модели распространения сигнала, описывающие поведение сигнала при распространении. Проблема заключается в том, что используемые эмпирические модели, такие как COST-231 Hata [1], модель Ли и др., создавались для определенных городов, архитектурно и климатически отличающихся от городов и местности России. В результате, возникают неточности в расчетах при проектировании сети. Операторы вынуждены проводить регулярные драйв-тесты для определения истинных значений уровня сигнала и выполнять необходимые корректировки ключевых параметров.

Основной задачей данной работы является разработка методики автоматической корректировки эмпирических моделей с помощью мо-

бильного приложения, которое позволит собирать системную информацию о сети LTE в реальном времени и практический в любом месте, такую как среднее значение пилотных сигналов (RSRP), качество принятых пилотных сигналов (RSRQ) [2]. Дальнейшая обработка и визуализация статистической информации. Проведение регрессионного анализа на основе полученных данных и восстановление функции модели распространения радиосигнала.

Разработанное программное обеспечение позволяет рассчитывать коэффициенты для эмпирической модели распространения радиосигнала на основе минимизации функции ошибок. Ниже показан результат проведенного эксперимента по сбору и обработке данных. (Рисунок 1).

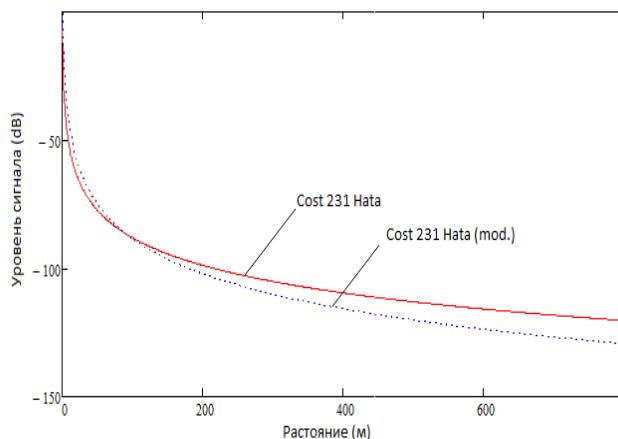


Рисунок 1 – Сравнение теоретического расчет и экспериментального.

В результате сбора, обработки и анализа данных были вычислены коэффициенты для модели COST 231 Hata. Минимизация функции ошибок производилось с помощью метода «вложенного золотого сечения». Ниже приведена формула. В расчетах теоретической зоны покрытия использовались теоретические параметры, которые могут не соответствовать реальным условиям.

$$L_p = -K_1 - K_2 \log(f) + 13.82 \log(h_{bs}) + a(h_m) - 1.27 * [44.9 - 6.55 \log(h_{bs})] \log(R) - K_0 - 9.99, \quad (1)$$

#### Литература:

1. Ajay R. Mishra John Wiley & Sons. Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation 2G/2.5G/3G... Evolution to 4G.

2. Vivian Lee. LTE and Evolution to 4G Wireless, design and measurement challenges, 457 с.

## СОЗДАНИЕ КРОССПЛАТФОРМЕННОЙ ВЕРСИИ ПРИЛОЖЕНИЯ «FSM TEST-1.0»

**С.В. Батрацкий, В.С. Белых, А.С. Твардовский**

**Научные руководители – С.А. Прокопенко, Н.В. Шабалдина,  
Н.В. Евтушенко**

**Национальный исследовательский Томский государственный  
университет, г. Томск, Pride080993@gmail.com,  
vitalya\_belykn@mail.ru, tvardal@gmail.com**

*В работе предлагается подход к разработке кроссплатформенного пакета прикладных программ на основе пакета по анализу и синтезу автоматных моделей «FSMTest-1.0» с возможностью внедрения в пакет новых программных решений без повторной компиляции.*

*This paper presents an approach of software tool development based on a tool for analysis and synthesis of state models «FSMTest-1.0». New tool will be adopted for different operation systems and implementations of new methods can be added into the tool without recompiling.*

На кафедре информационных технологий в исследовании дискретных структур радиофизического факультета ТГУ разработан пакет прикладных программ по анализу и синтезу автоматных моделей [1] под операционную систему Windows. В настоящий момент существует необходимость добавления в разработанный пакет других программных продуктов, причем реализации некоторых из них созданы для операционной системы Linux. Поэтому возникает задача разработки кроссплатформенного пакета прикладных программ на основе «FSMTest-1.0».

Для реализации оболочки пакета выбран язык программирования Java [2], поскольку он удобен для кроссплатформенной реализации интерфейса. Для метаописания данных используется язык XML [3], который позволяет добавлять новые структурные элементы в интерфейс без повторной компиляции.

На рисунке 1 представлено окно пакета «FSMTest-1.0», в правой части которого содержатся структурные элементы (компоненты) различных типов, описываемых на языке XML.

Далее производится разбор созданных XML файлов с помощью программного интерфейса DOM [4], позволяющего считать целиком файл в формате XML, проверить структуру файла, разобрать документ.

Для реализации графических элементов оболочки используются решения из библиотеки Swing [5].

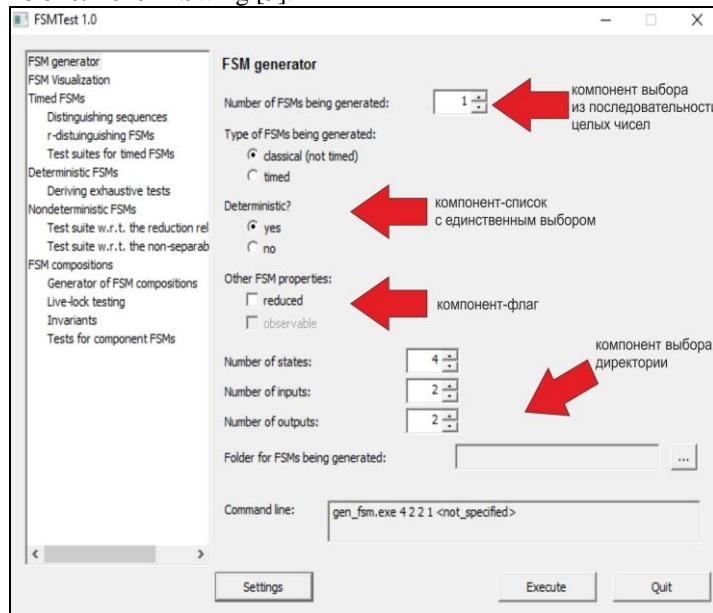


Рисунок 1 – Окно программы, вкладка «FSM generator»

Таким образом, в работе предлагается подход к разработке кроссплатформенного пакета прикладных программ на основе пакета «FSMTest-1.0» с возможностью внедрения в пакет новых программных решений без повторной компиляции.

#### Литература:

1. *Shabalina N., Gromov M. FSMTTest-1.0: a manual for researches // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTs'2015. – 2015. – P. 216-219.*
2. Java [электронный ресурс] // Официальный сайт Oracle Corporation. URL: <http://www.oracle.com/technetwork/java/index.html> (дата обращения 13.10.2016).
3. XML [электронный ресурс] // Официальная спецификация стандарта XML 1.1. URL: <https://www.w3.org/TR/xml11/> (дата обращения 13.10.2016).
4. XML [электронный ресурс] // Java course URL: <http://javacourse.ru/begin/xml/> (дата обращения 13.10.2016).

5. Портянкин И. Swing: Эффектные пользовательские интерфейсы. – СПб.: Лори, 2011. – 600 с.

## МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ КЛАССА ОПАСНОСТИ

А.А. Бункова, А.Ю. Долгих, Р.С. Бокова

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.Л. Осипов

Новосибирский государственный университет

экономики и управления,

г.Новосибирск, anastasia0blad@gmail.com

*В данной статье сравниваются различные алгоритмы предсказания класса опасности. Разработано мобильное приложение, реализующее эти алгоритмы.*

*In this article, it is compared different algorithms of a prediction of a class of danger. The mobile application realizing these algorithms is developed.*

Существует четыре класса токсичности химических веществ по их воздействию на человека и животных: 1 класс - чрезвычайно опасные; 2 – высоко опасные; 3 – умеренно опасные и 4 – малоопасные [1, с. 75]. В статье приводится сравнительный анализ трех методов по прогнозированию класса опасности химических веществ для ряда тиадиазинов, представленных в работе [2, с. 35]. Метод, представленный в работе [2, с. 34], дает качество распознавания (КР=87%). Он использует для прогноза класса острой токсичности соединений 1,3,4-тиадиазина двумерное дескрипторное пространство, включающее геометрический индекс  $A_2$  и топологический  $\chi$  [2, с. 35]. Байесовский метод [3, с. 845] для данного класса химических веществ имеет КР=88% (среднее по трем типам дескрипторов). Использовались структурные дескрипторы: атомы с валентным состоянием; атом – связь – атом; атомы с первым окружением.

Нейронная сеть дает КР= 92,59% (средняя по двум классам опасности). В качестве входных данных для нейронной сети с семью нейронами в скрытом слое использовались структурные дескрипторы, которые применялись в байесовском методе. В качестве функции активации была выбрана сигмоидная функция. Прогноз класса опасности представлен в таблице 1.

Элементы первого класса 11 соединений распознались не полностью (КР=90,9%), элементы второго класса опасности 35 соединений распознались не полностью (КР=94,28). Данные эксперименты проводились при скользящем контроле по выбранным классам токсичности. Разрабо-

тано мобильное приложение для реализации байесовского метода для прогноза класса опасности химических веществ на базе смартфонов с операционной системой Android [4, с. 465; 5, с. 583; 6, с. 561; 7, с. 519; 8, с. 383].

*Таблица 1.* Прогноз класса опасности с помощью нейронных сетей (Сокращенный вариант).

Номер соединения	Класс опасности	Расчет класса опасности нейронными сетями
1	1	1
2	2	2
3	1	1
...	...	...
43	2	1
44	2	2
45	1	2
46	2	2

#### Литература:

1. Новый справочник химика и технолога. //Радиоактивные вещества. Вредные вещества. Гигиенические нормативы. НПО «Профессионал» С.-П. – 2004. - 1024 с.
2. Белик А.В., Гусева Б.В., Зайцев Ю.А., Тужилкова Т.Н. Оценка класса токсичности производных тиазолидина методом потенциальных функций / А.В. Белик, Б.В. Гусева, Ю.А. Зайцев, Т.Н. Тужилкова // Хим.-фарм. журнал, 1993. - Т.27. - №12. - С. 34 - 36.
3. Осипов А.Л., Трушина В.П. Теория принятия решений в химико-биологических исследованиях // В мире научных открытий. 2015. № 4.2 (64). С. 843-849.
4. Трушина В.П., Пятницев Д.В. Мобильное приложение для реализации методов анализа ассоциаций // Science Time. 2015. № 5 (17). С. 463-469.
5. Осипов А.Л., Трушина В.П. Интеллектуальная система предсказания свойств химических веществ // Science Time. 2015. № 4 (16). С. 578-585.
6. Трушина В.П. Компьютерная система моделирования функции эффективности // Science Time. 2014. № 12. С. 541-573.
7. Трушина В.П., Осипов А.Л. Оптимальная стратегия поиска на прямой //Science Time. 2015. № 3 (15). С. 511-522.

# ПРОБЛЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ИНДУСТРИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ РАЗВЛЕЧЕНИЙ

A.C. Васильев

Научный руководитель – д.т.н., профессор каф. ЭИ Т.В. Авдеенко  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, a.vasilev@ftc.ru

*В настоящее время в индустрии компьютерных развлечений не уделяется должного внимания разработке искусственного интеллекта для так называемых ботов, ограничиваясь лишь набором сценариев для поведения, недостающее количество и непродуманность которых заставляют обычного пользователя не раз вспоминать о разработчике и писать гневные отзывы на, казалось бы, довольно качественный продукт. В данной статье рассматриваются причины такого подхода к разработке, а также предложено возможное решение.*

**Введение.** Все наверняка слышали об компьютерной программе, обладающей искусственным интеллектом (далее, для краткости - ИИ), разработанном компанией IBM, который обыгрывает лучших шахматистов мира в партию шахмат [1], или же созданный всеми известной компанией «Google» интеллект, также обыгрывающий знаменитых мастеров своей игры, но уже в партию Го [2]. Да, безусловно все эти и подобные им разработки интересны, и создают достойных соперников для профессионалов своей игры. Но что насчет нас, обычных людей? Куда нам тянуться с интеллектом, который обыгрывает лучших игроков в своей области? Для нас эти разработки не несут какой-либо практической пользы. Именно к решению проблемы того, что обычный пользователь так же хочет иметь дело с достойным для себя противником, мы и хотим сделать шаг.

**Актуальность проблемы.** Актуальна ли данная проблема? Да, поскольку разработка видеоигр уже давно перестала быть просто развлечением программистов, сегодня это одна из наиболее активно развивающихся индустрий в мире, в которой используются все более сложные технологии в области компьютерной графики и обработки звука. Однако если технологии визуализации развиваются наравне с их аппаратной частью – персональными компьютерами и игровыми приставками, то ИИ развивается значительно медленнее и ему не уделяется вовсе должного внимания. Возможно, это обусловлено тем, что все люди разные, у всех свой стиль поведения, и игре иметь ИИ, одинаково удовлетворяющий всех, довольно сложно. Стандартными задачами ИИ в играх являются: нахождение пути в двумерном или трёхмерном пространстве, имитация поведения боевой единицы, расчёт верной экономической

стратегии и т. д. [3]. На данный момент практически все игры используют модель «дерева решений»: определённые действия ведут к активации соответствующей ветви поведения, прописанной программистом заранее. Но если возымет место череда условий и обстоятельств, выходящая за рамки дерева или попросту там не обозначенной, как бот попадает в логический тупик и выдаёт реакцию, не характерную для живого человека [4]. А что если бы интеллект так называемых ботов умел бы именно принимать решения, в соответствии со стилем игры пользователя, постепенно обучаясь и подстраиваясь под него, чтобы победа не казалась ему такой легкой. Именно эта задача актуальна, чтобы процесс игры был наиболее интересен игроку и создавалось ощущение, что он имеет дело с настоящими людьми, такими же обычными как он, которые из ситуации в ситуацию ведут себя по разному и также надеются победить. Это могло бы вывести индустрию компьютерных развлечений на новый уровень. Сейчас идет бум технологии виртуальной реальности (ВР), и все разработчики современных компьютерных развлечений, конечно же, не отстают от тренда и углубляются в данную специфику, при этом все так же не уделяя должного внимания ИИ и гонясь больше за графически красивым наполнением и теперь еще поддержкой ВР. В этом направлении двигается лишь все та же, вышеупомянутая компания «Google» [4] с их изобретением **Google Deep Mind**: начав с вариации классического аркана под названием Breakout, ИИ в конечном итоге освоил более пятидесяти игр от Atari (гораздо больше, чем среднестатистический игрок), таких как Pacman, Atlantis, Space Invaders, в большинстве из них уже с лёгкостью обыгрывает противника. В перспективах программистов обучить его более сложным играм (за цель взяты Starcraft и Warcraft) и сделать так, чтобы ИИ использовал опыт, полученный в предыдущих играх, а также в других играх [4].

**Вывод.** Подводя итог, видно, что данная проблема актуальна, а современные интеллектуальные технологии уже могут позволить решить ее. Однако из-за гонки в трендах данной проблеме не уделяется должного внимания и времени, по-прежнему придерживаясь модели дерева решений.

#### Литература:

1. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход (второе издание), – Пер. с англ. – Москва: Вильямс, 2006. – 69 с.
2. Англ. статья об AlphaGO на сайте разработчиков: <https://deepmind.com/research/alphago/>
3. Жучков А.А. Искусственный интеллект // Материалы доклада : <http://works.doklad.ru/view/l44v1Iye9U4/all.html> - Москва, 2010.

4. Искусственный разум: часть вторая // Материалы статьи:  
[https://games.mail.ru/pc/articles/feat/iskusstvennyj\\_razum\\_chast\\_vtoraja\\_by\\_bee\\_dee\\_mail\\_ru/](https://games.mail.ru/pc/articles/feat/iskusstvennyj_razum_chast_vtoraja_by_bee_dee_mail_ru/) - 26.10.2015

## КЛАССИФИКАЦИЯ ЭМОЦИЙ ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ С ПОМОЩЬЮ СКРЫТЫХ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ

**Н.А. Горлова**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Т.А. Гультьяева**  
**Новосибирский государственный технический университет,**  
**г. Новосибирск, bogdanova.nadezhda.a@gmail.com**

*В данной работе рассматривается классификации эмоции по изображению лица человека с помощью скрытых марковских моделей с использованием величин, посчитанных по ключевым точкам лица. Рассматриваются различные методы классификации. Приведены результаты для различных эмоций.*

*Emotion recognition by Hidden Markov Models using the image of a human face is presented in this work. Variables calculated by the facial feature points are using as the sequence of observing states. Several methods of classification are considered. Also results which have been calculated for the couple different emotions are listed in this work.*

Системы автоматической классификации эмоций могут найти применение в различных отраслях. В данной работе рассматривается определение эмоций с помощью скрытых марковских моделей (СММ) с использованием величин, посчитанных по особым точкам лица. Рассматриваются различные алгоритмы классификации. Для нахождения координат особых точек лица используется активная модель формы [1] (Active Shape Model).

Для задания модели необходимо определить вектор вероятностей начальных состояний, матрицу вероятностей переходов из одного скрытого состояния в другое, функции плотностей распределений условных вероятностей наблюдать текущее состояние, при условии, что находится в некотором скрытом состоянии [2].

В работе рассматриваются два различных метода классификации эмоций. Первый метод основан на максимуме функции правдоподобия. Для каждой определяемой эмоции задаётся отдельная СММ. В качестве наблюдений используются некоторые величины, посчитанные по особым точкам лица изображения. Для каждой последовательности наблюдений для каждой СММ вычисляется функция правдоподобия. Та модель, для которой это значение максимально, будет определять эмоцию.

Для тестирования использовалась база изображений Cohn–Kanade, которая используется многими исследователями для сравнения точности классификации эмоций.

Метод, основанный на функции правдоподобия, показал высокую точность (до 88%) при классификации сильно различающихся эмоций [3]. При наличии среди эмоций близких друг к другу, точность классификации для данного метода существенно снижается.

В качестве альтернативного метода был рассмотрен метод, основанный на многоуровневой СММ. В данном методе задается дополнительная СММ (модель верхнего уровня), каждое внутреннее состояние которой соответствует определенной эмоции. Распознавание эмоции на изображении достигается определением состояния, в котором находится СММ верхнего уровня. Наблюдение для модели верхнего уровня формируется из последовательностей скрытых состояний моделей нижнего уровня.

В работе рассматриваются два различных метода определения скрытого состояния модели верхнего уровня: алгоритм Витерби и алгоритм поиска последовательности наиболее вероятных состояний[4].

Метод, основанный на многоуровневой СММ, с высокой точностью (до 88%) классифицирует близкие эмоции, что не хуже, чем в опубликованных другими авторами исследованиях на той же базе изображений.

#### Литература:

1. *Cootes, T.F.* Active shape models – their training and application [Электронный ресурс] //Computer vision and image understanding. – Vol.61 – 1995 – URL: [http://webdocs.cs.ualberta.ca/~nray1/CMPUT615/Snake/cootes\\_cviu95.pdf](http://webdocs.cs.ualberta.ca/~nray1/CMPUT615/Snake/cootes_cviu95.pdf) (дата обращения: 10.10.2016).
2. *Rabiner, L.R.* A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition / L.R Rabiner; IEEE. – FELLOW: IEEE, 1989. – 30p.
3. *Горлова Н. А.* Распознание эмоций по изображению лица с помощью скрытых марковских моделей. // Обработка информации и математическое моделирование: материалы всерос. науч.-техн. конф. – Новосибирск : СибГУТИ, 2015. – С. 67–74. – 25 экз. – ISBN 978-5-91434-027-5.
4. *Шлезингер, М. И.* Десять лекций по статистическому и структурному распознаванию образов / Kluwer Academic Publishers Boston/ Dordrecht/ London.

# **ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ КОНФИГУРАЦИОННЫХ ДАННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

**М.А. Ильина**

**Научный руководитель – м.н.с. П.Б. Чеблаков**  
**Новосибирский государственный университет,**  
**г. Новосибирск, iIyina.mariam@gmail.com**

*Для обеспечения контроля любой физической установки требуется оперировать большим объемом разнородных и неструктурированных настроек. В ходе работы были определены основные недостатки существующих подходов к хранению конфигурационных данных. В качестве оптимального хранилища настроек была выбрана и спроектирована онтологическая модель, которая удовлетворяет предъявленным требованиям и предоставляет возможности для семантического анализа данных.*

*Performing the control of any physical facility requires a multitude of heterogeneous and unstructured configurations. We examined the main drawbacks of currently existing approaches to storing configuration data. To solve the problem, we developed an ontological model, which meets all the specified requirements and provides with possibilities for semantic data analysis.*

## **Введение в предметную область**

Одной из важнейших частей любой физической установки или комплекса является система управления, которая обеспечивает полный контроль над всеми компонентами установки. Для корректной работы системы управления установки программным компонентам требуются конфигурационные данные. В больших комплексах конфигурационные данные могут достигать значительных объемов и высокой разнородности [1]. Обеспечивать непротиворечивость данных и обрабатывать их вручную в таких условиях становится проблематично.

В настоящее время в мире нет единого подхода к хранению настроек. Целью работы было исследование подходов к реализации хранилища конфигурационных данных и выбор варианта, соответствующего предъявляемым требованиям.

## **Анализ возможных подходов к хранению настроек**

В результате исследования предметной области было выявлено, что хранение настроек непосредственно на локальных машинах, в специальных файлах, усложняет процесс контроля над системой в целом. Для систем, использующих реляционные базы данных, также была выявлена их неэффективность при выполнении сложных запросов.

В качестве альтернативного варианта были изучены *NoSQL* системы - агрегатно-ориентированные и графовые модели данных [2]. Первые

оказались недостаточно экспрессивны для описания отношений между объектами физической установки. Напротив, графовые базы данных демонстрирует гибкость модели и быстроту выполнения запросов.

Также была проанализирована возможность использования онтологической модели данных в качестве хранилища настроек и прочей вспомогательной информации о системе.

### **Онтология конфигурационных данных**

Для того чтобы структурировать знания о некоторой предметной области, составляется схема понятий и связей между ними, в совокупности с принятными в этой области правилами, называемая *онтологией* [3]. Формирование базы знаний конфигурационных данных предоставляет более широкие возможности для описания и семантического анализа предметной области, чем графовая модель.

Для хранилища конфигурационных данных была разработана онтология, позволяющая описать соединения между различными объектами сложной физической установки. Для создания онтологии на языке *OWL* использована платформа *Protégé* [4]. В совокупности метамодель и инстанцированные модели составят базу знаний предметной области. К сформированной базе знаний можно совершать запросы на языке *SPARQL* и реализовать соответствующие веб-интерфейсы.

В перспективе планируется создание набора приложений для работы с конфигурационными данными и тестирование на экспериментальных установках ИЯФ.

Литература:

1. Configuration system of the NSLS-II Booster Control System electronics / Cheblakov P., Bolkhovityanov D., Karnaev S., Makeev A. // Proceedings of International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, ICALEPCS 2013, San Francisco, CA, USA, 6-11 oct. 2013. – San Francisco, 2013. – P.100-102.
2. Sadalage P., Fowler M. NoSQL Distilled: a brief guide to the emerging world of polyglot persistence / Pearson Education, Inc. – Crawfordsville, USA. 2013. – P. 36-38
3. Guarino N., Oberle D., Staab S. What is an ontology? // Handbook on ontologies - 2nd edition. - Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, Germany, 2009. – P. 19-25
4. Horridge M. A practical guide to building OWL ontologies using Protege 4 and CO-ODE Tools. - 1.3 ed. // The University of Manchester, USA. – 2011, march. – P. 13-75

# **ОБ ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**А.Г. Жихарев, К.В. Корчагина, П.А. Бузов**

**Научный руководитель – д.т.н., профессор С.И. Маторин  
Белгородский государственный национальный исследовательский  
университет, г. Белгород, korchagina@bsu.edu.ru**

*В работе представлено описание метода и программного инструментария имитационного моделирования «UFOModeler», основанных на системном подходе «Узел-Функция-Объект».*

*The paper represents description of simulation modeling method and software tool «UFOModeler», based on «Unit-Function-Object» systems thinking.*

В последние годы имитационное моделирование стало одним из распространенных методов исследования функционирования систем. Существует немало программных средств и инструментов имитационного моделирования, направленных на то, чтобы уменьшить трудоемкость построения имитационных моделей. Авторами предлагается проведение имитационного моделирования с использованием метода системно-объектного имитационного моделирования и программного инструментария «UFOModeler» (Свидетельство о регистрации ПО № 2015663240, <http://ufomodeler.ru/>), разработанного с применением системного подхода «Узел-Функция-Объект» [1] и исчисления объектов Абади-Кардели [2].

Данный программный инструментарий позволяет проводить моделирование организационно-деловых и производственно-технологических систем, вычисление интересующих показателей процесса функционирования системы в режиме реального времени за счет реализации функционала системы в виде скрипта, описывающего преобразование входных параметров функционала в выходные. Фактически имитационная модель системы состоит из отдельных исполняемых блоков программы. Использование конструкции Узел-Функция-Объект [3-5] позволяет описать процесс системно (его структурные, функциональные и объектные характеристики).

Имитация функционирования системы в пакете «UFOModeler» осуществляется путем выполнения следующих шагов:

- построение контекстной модели анализируемого процесса;
- определение функциональных узлов и построение иерархической УФО-модели системы в терминах «Узел-Функция-Объект»;

- для каждого узла разрабатывается скрипт (на языке УФО-скрипт), описывающий процесс (функцию) преобразования входных потоковых объектов в выходные. Для каждой функции создается объект, который ее реализует.

Работоспособность метода и программного средства проверены путем моделирования ряда технологических линий – линии по производству пластиковой тары и линии по производству модифицированного нанокристаллического гидроксилапатита [6]. С помощью полученных моделей проведен ряд экспериментов.

Программный инструментарий UFOModeler позволяет описать системы со структурной, организационной и функциональной точек зрения. Является перспективным для проведения имитационного моделирования организационно-деловых и производственно-технологических систем.

#### Литература:

1. УФО-подход: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Узел-Функция-Объект>)
2. *Abadi Martin and Luca Cardelli A Theory of Objects.* - Springer-Verlag. - 1996.
3. Корчагина К.В., Жихарев А.Г., Маторин С.И., Бузов П.А. Формальное описание количественных характеристик систем с помощью исчисления функций. Современные тенденции развития науки и производства: сборник материалов Международной научно-практической конференции (21-22 января 2016 года), Том I – Кемерово: ЗапСибНЦ, 2016
4. Корчагина К.В., Жихарев А.Г. О системно-объектном имитационном моделировании // Ежемесячный научный журнал. 2015. №9 (14).
5. Жихарев А.Г., Маторин С.И. Системное имитационное моделирование с использованием исчисления объектов // Седьмая всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2015): Труды конф., 21-23 окт. 2015 г., Москва: в 2 т. / Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова Рос. Акад. наук; под общ. ред. С.Н. Васильева, Р.М. Юсупова. – Т. 1. – М.: ИПУ РАН, 2015.
6. Корчагина К.В., Жихарев А.Г., Маторин С.И., Бузов П.А. Разработка имитационной модели процесса производства модифицированного нанокристаллического гидроксилапатита // Национальная научно-техническая конференция Компьютерное Моделирование - 2016 (КОМОД-2016), 5 - 6 июля 2016 г., Санкт-Петербург.

# ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ НЕЧЕТКИХ СИСТЕМ

М.В. Кочан

Научный руководитель – д.т.н., проф. А.А. Попов  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, m.kochan@ngs.ru

В данной работе реализуется подход к проблеме недолгосрочного прогнозирования временных рядов, опирающийся на нечеткую авторегрессионную модель (FLAR – Fuzzy Logic Autoregressive). Проводилось исследование зависимости гладкости входной функции от количества нечеткихpartition и количества регрессоров, включенных в модель. В процессе работы сравнивается прогноз, полученный авторегрессионной нечеткой моделью с прогнозом модели авторегрессионной скользящей – средней (ARMA – Autoregressive Moving-Average).

This work presents approach to the problem of short-term prediction of time series based on fuzzy logic autoregression model (FLAR – Fuzzy Logic Autoregressive). The research of dependence of smoothness of input function from the number of distinct partitions and number of the regressors included on in model was conducted. In the work, the forecast which received by autoregression fuzzy model is compared with the forecast of model autoregression sliding – average (ARMA – Autoregressive Moving-Average).

В выполненной системе прогнозирования применяются методы нечеткой логики, а сама система содержит базу нечетких правил, заключения которых содержат линейные функции. Данный вид базы правил соответствует модели Такаги – Сугено. Нечеткая система осуществляет отображение, в котором важное место занимает функция принадлежности  $\mu_{A_{ij}}(x_j)$ , указывающие на степень принадлежности четкой переменной  $x_j$  нечеткому терму  $A_{ij}$ , где все  $x_j$  – переменные  $y_{t-j}$  являющиеся лагом значения входного временного ряда  $\{y_t\}$ . Использование аппарата нечетких правил помогает получить наиболее гибкую модель, улучшая точность аппроксимации, путем модификации количества нечетких правил.

База правил нечеткой системы размытых правил Такаги – Сугено задается правилами:

ЕСЛИ  $y_{t-1} \in A_1$  И ..., И ЕСЛИ  $y_{t-p} \in A_p$ , ТО  $y_t = b_0 + b_1 y_{t-1} + \dots + b_p y_{t-p}$ .

Тогда прогнозное значение для отклика определяется по методу центра масс:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i f_i(x)}{\sum_{i=1}^n \mu_i}, \quad \mu_i = \prod_{j=1}^p \mu_{A_{ij}}(x_j), \quad i = \overline{1, n},$$

где  $n$  - число нечетких правил,  $f_i(x)$  – функция зависимости отклика  $y$  от набора регрессоров  $x = (x_1, \dots, x_p)$ , приобретающая вид:

$$f_i(x) = \theta_{i0} + \sum_{t=1}^m (\theta_{it} x_t), i = \overline{1, n}.$$

В итоге регрессия подчиняется уравнению, вида:

$$y_t = \sum_{i=1}^n (\theta_{i0} + \sum_{t=1}^m (\theta_{it} x_t)) \mu_{A_{ij}}(x_j) + e_t, t = \overline{1, m}, j = \overline{1, p},$$

где  $e_t$  случайная величина, центрированная и с конечной дисперсией.

В данной работе предлагается метод параметрической идентификации нечеткой модели, основанный на идее нахождения прямой связи между входными и наблюдаемыми значениями. Реализуется такой подход методом наименьших квадратов (МНК). Адекватность полученных результатов регулируется информационным критерием Акаике, Байесовским информационным критерием и критерием финальной ошибки предсказания, реализованными в данной работе.

Проведено исследование, в результате которого выяснилось, что нечеткая авторегрессионная модель дает более качественный результат, чем модель авторегрессионного скользящего - среднего, путем варьирования количества партиций и усложняя модель, увеличивая количество регрессоров. Таким образом можно сказать, что нечеткая авторегрессионная модель может давать эффективный краткосрочный прогноз.

Литература:

1. *A. Пегат.* Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат; пер. с англ. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.
2. *Дж.Бокс, Г.Дженкинс.* Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Издательство “Мир”. Москва, 1974г.
3. *Р.Л. Кашиян, А.Р. Рао.* Построение динамических стохастических моделей по экспериментальным данным. Издательство М.: Наука , 1983. – 384 с.

# АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ ОБЪЕКТА НА ТЕПЛОВИЗИОННОМ ИЗОБРАЖЕНИИ

**А.О. Лебедев, В.Н. Федоринин**

**Научный руководитель – к.т.н., рук. филиала В.Н. Федоринин**  
**Филиал ИФП СО РАН «КТИПМ»,**  
**г. Новосибирск, artem\_leb@mail.ru**

*Работа посвящена разработке алгоритма обработки тепловизионного изображения с целью выделения стационарных и движущихся объектов, дальнейшей бинаризации изображения для упрощения последующей обработки.*

*The work is dedicated to the development of thermal image processing algorithm in order to allocate stationary and moving objects for further image binarization to simplify the processing.*

Системы с компьютерным зрением находят широкое применение в различных областях человеческой деятельности. Глубина вычислений в данных системах во многом определяется поставленными задачами и производительностью аппаратной платформы. Задача формирования алгоритмов, обеспечивающих при прочих равных условий снижение объема вычислительных операций, является актуальной. Основной объем вычислительных операций производится на этапе предварительной обработки, где решаются задачи локализация объекта, выделения его на фоне естественных и искусственных помех.

Для решения данной задачи в работе разработан алгоритм, в основе которого лежат методы частотной фильтрации на базе дискретных вейвлет преобразований. На этапе предварительной обработки кадра используется алгоритм скользящего окна, представляющего собой матрицу 5-го порядка. Значение коэффициентов матрицы удовлетворяли следующим условиям:

- сумма всех коэффициентов матрицы равна нулю;

$$\sum_{i,j} a_{i,j} = 0, \text{ где } 0 \leq i, j \leq 5$$

- коэффициенты матрицы, симметричные относительного центрального элемента, равны между собой.

На рис.1а представлено исходное тепловизионное изображение, на рис.1б – гистограмма распределения пикселей по амплитуде сигнала,  $n$  – количество пикселей,  $u$  – величина сигнала.

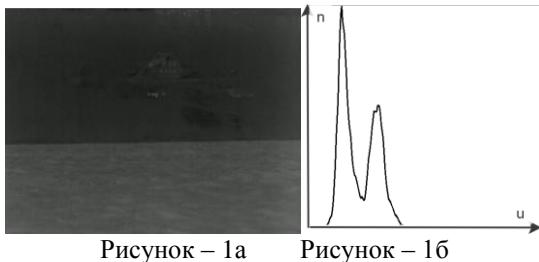


Рисунок – 1а      Рисунок – 1б

На рис.2 слева представлены изображения после обработки частотным фильтром, а на рис.2 справа представлена гистограмма распределения пикселей по амплитуде, в которой выделяются два характерных пика обусловленных сигналами от объектов наблюдения. Для уменьшения уровня шумов применен морфологический («dilation») фильтр с последующие бинаризация изображений, где сигнал от выделенных объектов равен 1, а сигнал, уровень которого ниже заданного значения, вычисленного из гистограммы, равен 0 (Рис.3).

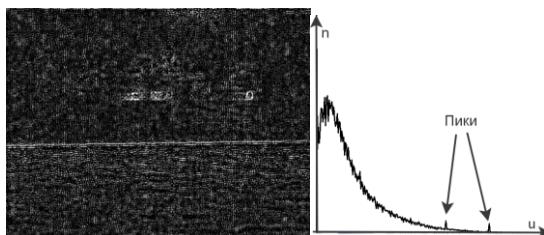


Рисунок 2 – Изображение, обработанное скользящим окном (слева).  
Справа – гистограмма обработанного изображения

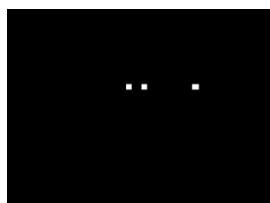


Рисунок 3 – Бинаризованное изображение для дальнейшей обработки

Применение данного алгоритма позволяет на этапе предварительной обработки значительно снизить объем вычислений и упростить создание программного обеспечения для ПЛИС.

Литература:

1. Duda R., Hart P. Pattern Classification and Scene Analysis. — John Wiley and Sons, 1973. — P. 271—272.

## ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ГИПЕРВИЗОРОВ НА ОСНОВЕ ЯДРА LINUX

Н.А. Линкевич

Научный руководитель – к.ф.-м.н. А.И. Пестунов

Новосибирский государственный университет

экономики и управления «НИНХ»,

г. Новосибирск, [n.a.linkevich@nsuem.ru](mailto:n.a.linkevich@nsuem.ru)

*Предлагается узко специализированная операционная система на базе ядра Linux, предназначенная для гипервизоров. Система является значительно более легковесной, чем существующие в настоящее время универсальные аналоги и удобна в самостоятельной настройке. Апробация системы осуществлена в лаборатории компьютерной и сетевой безопасности НГУЭУ.*

*We propose a specially developed lightweight operation system, which is based on the Linux Core and is intended for hypervisors. The system requires much lesser computer resources than existing universal operation systems, which can be installed on various hardware and can provide different services. The developed operation system has been successfully installed and approved in the laboratory of computer and network security in Novosibirsk state university of economics and management.*

На данный момент существует несколько относительно известных операционных систем, которые можно использовать для гипервизоров, среди них Debian [2], Ubuntu [6], VMWare ESXi, Arch Linux [1], Gentoo Linux [3], Slackware Linux [5]. Debian считается наиболее стабильной из всех, но является универсальной и поэтому содержит большое количество функциональных возможностей, которые не требуются для целей виртуализации, что приводит к нерациональному использованию ресурсов ЭВМ гипервизора.

Ubuntu широко распространена из-за проработанного пользовательского интерфейса, но часто работает нестабильно. VMWare ESXi обладает приемлемыми характеристиками для работы на гипервизорах, но, хотя и распространяется бесплатно, является проприетарным (с закрытым программным кодом) и не позволяет дописывать программный код. Две операционные системы класса Rolling Release – Arch Linux и Gentoo Linux – также имеют ряд проблем: Gentoo Linux сложна в первичной настройке, а Arch Linux имеет проблемы с обновлениями. Slackware Linux не обладает контролем зависимостей, что также теоретически может приводить к проблемам после обновления.

В настоящем докладе будет представлена узко специализированная легковесная операционная система для гипервизоров, созданная на базе ядра Linux. В качестве подхода к разработке выбрана разработка «с нуля» (from scratch) в силу ряда следующих причин [4]. Использование распространенного systemd [7] проблематично, поскольку он нестабилен, и при этом от версии к версии меняется формат unit-файлов. Более того, systemd требует dbus, не нужный на гипервизоре. В целом, на наш взгляд, systemd пытается совместить в себе большое число компонентов, что негативно сказывается на стабильности.

В предлагаемой разработке используется гибридная система инициализации, построенная на основе sysvinit и runit. Runit потребляет довольно мало ресурсов и быстро восстанавливает работу сервисов после сбоя. Sysvinit используется для запуска стартового скрипта, выполняющего проверку системы и начальное конфигурирование параметров (имени хоста, ip-адреса и т.д.), а также для запуска консолей tty0 и ttyS0.

Некоторые идеи взяты из существующих операционных систем. Так, из Slackware Linux взята идея инициализации единым скриптом без уровней загрузки (как в sysvinit), что позволило избежать зависимостей между сервисами. По аналогии с Arch Linux устранен «path hell» при помощи символьических ссылок. Все настройки хранятся в «/etc/conf.d» и переменных окружения «/etc/env.d» подобно Gentoo Linux.

По результатам тестового внедрения в лаборатории компьютерной и сетевой безопасности НГУЭУ, использование разработанной операционной системы позволило достичь приемлемой стабильности, повышения быстродействия (в сравнении с универсальными операционными системами) и возможности программирования специфического функционала, что сложно сделать в случае проприетарного программного обеспечения.

#### Литература:

1. Официальный сайт Arch Linux // <https://www.archlinux.org/>
2. Официальный сайт Debian // <https://www.debian.org/>
3. Официальный сайт Gentoo Linux // <https://www.gentoo.org/>
4. Официальный сайт LFS // <http://www.linuxfromscratch.org/lfs/>
5. Официальный сайт Slackware Linux // <http://www.slackware.com/>
6. Официальный сайт Ubuntu // <https://www.ubuntu.com/>
7. Официальный сайт systemd //  
<https://www.freedesktop.org/wiki/Software/systemd/>

# КЛАССИФИКАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗРЕЖЕННОГО МЕТОДА РЕЛЕВАНТНЫХ ВЕКТОРОВ

Р.А. Маринич

Научный руководитель – д.т.н., проф. А.А. Попов

Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, frank404@yandex.ru

Целью данной работы является построение и исследование разреженного метода релевантных векторов (*RSFM – Relevance Sample Feature Machine*) и сравнение его с другими разреженными методами, такими как *JCFO* (*joint classifier and feature optimization*) и *JSFCL* (*joint feature selection and classifier learning*). В ходе выполнения исследовательской работы была разработана программа, решающая данную задачу. Приведены результаты модельных экспериментов, показывающих различие в поведение разработанного классификатора, на различных синтетических данных с разным набором ядерных функций.

The purpose of this work is construction and a research of the rarefied method of relevant vectors (*RSFM – Relevance Sample Feature Machine*) and his comparison with other rarefied methods, such as *JCFO* (*joint classifier and feature optimization*) and *JSFCL* (*joint feature selection and classifier learning*). During performance of research work the program solving this problem has been developed. Results of the model experiments showing distinction in behavior of the developed qualifier are given in various synthetic data with a different set of nuclear functions.

В машинном обучении разреженность является важной и желательной по двум причинам. Во-первых, разреженность управляет сложностью модели и помогает избегать переобучения. Во-вторых, использование разреженной модели для получения предсказаний в вычислительном плане более эффективно. RVM ищет некоторое подмножество обучающих векторов, называемых релевантными векторами, и использует линейную комбинацию ядерных функций в которую подставляются найденные релевантные вектора. Каждый обучающий вектор состоит из некоторых признаков. Однако, RVM не разработан для взаимодействия с этим подмножеством признаков из которого тоже можно извлечь полезную информацию. В данной работе представлен метод релевантных векторов и признаков (*RSFM*), который одновременно ищет и релевантные вектора, и релевантные признаки. Предложенный метод имеет преимущество от разреженности в следующих областях: в образцах учебного набора данных и их признаков.

В работе также представлен алгоритм машинного обучения *RSFM* для совместного отбора признаков и объектов. С этой целью была расширена классическая формулировка *RVM* и введена новая модель с раздельными параметрами для признаков и образцов. Также описано

построение модели предложенного метода и его алгоритм, основанный на максимизации функции правдоподобия. В качестве главных достоинств RSFM может быть отмечено то, что:

1) определение релевантных признаков одновременно с релевантными векторами позволяет получить модель, которая включает два отдельных набора параметров векторов и признаков;

2) метод обладает робастностью, которая делает его нечувствительным к лишним признакам и шуму.

Предложенный алгоритм был оценен на двух синтетических наборах данных. Результаты эксперимента показывают, что предложенный метод RSFM устойчив при добавления нерелевантных признаков и не переобучается от шума. Вычислительная сложность метода аналогична вычислительной сложности метода RVM.

Сравнивая метод RSFM с другими разреженными алгоритмами, можно отметить, что неразреженные методы RVM и SVM значительно уступают в обобщающей способности разреженным методам, так как их коэффициент ошибки приблизительно равен 50%. Методы с отбором признаков, такие как RSFM, JCFO и JFSC, игнорируют шумовые признаки и поэтому справляются с этой задачей лучше. В результате экспериментов выяснилось, что RSFM превосходит метод JCFO в обобщающей способности даже для небольших размеров обучающей выборки. Обобщающая способность метода RSFM очень близка к обобщающей способности метода JFSC, хотя и не превышает ее. Однако, RSFM имеет преимущество в плане большей разреженности.

#### Литература:

1. Wong, S. "Real-time adaptive hand motion recognition using a sparse Bayesian classifier," in Proc. Comput. Vision Human-Computer Interaction, vol. 3766. Oct. 2005, pp. 170–179.
2. Thayananthan, A. Navaratnam, R. Stenger, B. Torr, P. "Multivariate relevance vector machines for tracking," in Proc. Eur. Conf. Comput. Vision, 2006, pp. 124–138.
3. Silva, C. and Ribeiro, B. "Scaling text classification with relevance vector machines," in Proc. IEEE Int. Conf. Syst., Man, Cybern., vol. 5. Oct. 2006, pp. 4186–4191.
4. Agarwal, A. Triggs, B. "3-D human pose from silhouettes by relevance vector regression," in Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vision Pattern Recognit., vol. 2. Jun.–Jul. 2004, pp. II-882–II-888.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ  
ВЫЛЕТА ГАММА-ФОТОНА ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ  
КАРДИОЛОГИЧЕСКИХ ПАЦИЕНТОВ МЕТОДОМ  
ОДНОФОТОННОЙ ЭМИССИОННОЙ  
КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ (ОФЭКТ)**

**М.М. Ондар**

**Научный руководитель – в.н.с. ИТПМ СО РАН,**

**д.ф.-м.н. Н.В. Денисова**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, ondar\_marina93@mail.ru**

*Однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ) – диагностический метод, широко применяемый в современной кардиологии при обследовании заболеваний сердца. Несмотря на существенный прогресс в этой области, довольно часто возникают артефакты на изображениях миокарда, что приводит к ложноположительным диагнозам. Одной из причин появления артефактов является поглощение гамма-фотонов при прохождении через тело пациента. Для исследования роли поглощения в рамках данной работы было выполнено моделирование прохождения гамма-квантов через биологические ткани.*

*Single photon emission computed tomography (SPECT) is a widely used diagnostic technique in modern cardiology for the examining of disease of the heart. Although significant progress in this field, there are often artifacts in images of the myocardium, which leads to false positive diagnoses. One of the reasons for artifacts is the absorption of gamma-photon at passing through the patient's body. It was performed the modeling of the gamma-quantum passing through biological tissue as part of this work to investigate the role of the absorption.*

Однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ) – диагностический метод, широко используемый в кардиологии для исследования заболеваний сердца. При обследовании пациентов методом ОФЭКТ пациенту вводится радиофармацевтический препарат (РФП)  $^{99m}$ Tc-МИБИ ( $^{99m}$ Tc-метокси-изобутил-изонитрил). В результате внутриядерного распада  $^{99m}$ Tc излучает гамма-квант с энергией 140 кэВ. Активное действующее вещество – МИБИ, концентрируется в неповрежденных мышечных клетках миокарда и не попадает в поврежденные клетки. Таким образом, получая изображение распределения радиофармацевтического препарата в миокарде, врачи могут оценить степень его поражения. Изображения получают с использованием гамма-камеры. После введения РФП выполняется регистрация гамма-фотонов для разных углов ориентации гамма-камеры. Далее, с помощью специально разработанных программ на основе измеренных данных осуществляется

реконструкция изображения. Это изображение представляет распределение радиофармацевтического препарата в органах грудной клетки пациента, включая миокард. Несмотря на большие усилия и существенный прогресс в области алгоритмов реконструкции, довольно часто возникают артефакты на изображениях, что приводит к ложноположительным диагнозам. Одной из причин появления артефактов является поглощение гамма-фотонов при прохождении через тело пациента. Этот процесс необходимо учитывать в рамках решения задачи реконструкции изображения. Для исследования роли поглощения в рамках данной работы было выполнено моделирование прохождения гамма-квантов через биологические ткани. С этой целью был выполнен расчёт вероятности вылета гамма-квантов из тестируемого объекта с заданным распределением коэффициентов поглощения. Расчеты выполнялись для разных углов, соответствующих стандартным положениям гамма-камеры. Были разработаны математические модели разного уровня сложности: 1) объект с однородным распределением коэффициента поглощения с включением сильной неоднородности, 2) объект, моделирующий распределение коэффициента поглощения в одном из сечений торса пациента, включающий кости грудной клетки, легкие и миокард. Для расчета коэффициентов поглощения гамма-фотонов с энергией 140 кэВ для разных тканей (легких, костей и мягких тканей) использовались данные, приведенные в работе [1].

Благодарность:

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № № 14-02-00403-а.

Литература:

1. *Patton J A., Turkington T.G. SPECT/CT Physical Principles and Attenuation Correction // Journal of Nuclear Medicine Technology.-2008 Mar.-36(1):1-10.*

## **СТЕГАНОГРАФИЯ. СКРЫТИЕ СТЕГО В ИЗОБРАЖЕНИИ**

**А.С. Пахоруков**

**Научный руководитель – д.т.н., профессор каф. ТПИ Попов А.А.  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, alex.roler@gmail.com**

*Объектом исследования является алгоритм, основанный на методах MLSB и DSIS. Цель работы – модификация и реализация современного алгоритма, основанного на методах MLSB и DSIS. В процессе работы проводился анализ реализованного алгоритма. В результате исследования было установлено, что*

*существует вероятность обнаружения стего в контейнере, однако извлечение и чтение данных является трудоемкой задачей для нарушителя, даже если известен алгоритм. Поэтому данный алгоритм допускается использовать для скрытой передачи данных.*

*The object of the research is an algorithm based on the methods MLSB and DSIS. The purpose of work is modification and realization of modern algorithms based on methods MLSB and DSIS. The analysis of the implemented algorithm was conducted during the work. The study found that there is a probability of detection stego in the container, but the recovery and reading of data are a time consuming task for the offender even if the algorithm is known. Therefore, this algorithm is allowed to use for hidden and secure data transmission.*

Стеганография (также известна как «тайнопись») – это наука о скрытой передаче информации путём сохранения в тайне самого факта передачи. Однако это не единственное ее применение. Например, ее можно использовать для защиты авторских прав, путем встраивания ЦВЗ в медиа файлы с целью выявления пиратского распространения контента.

Как известно, алгоритм скрытия или защиты информации придуманный одним человеком, рано или поздно может быть взломан другим человеком. Поэтому стеганография тесно связана со стегоанализом, позволяющим с помощью различных атак на контейнер (с целью обнаружения в нем стего) определить надежность того или иного алгоритма скрытия данных в контейнер.

К сожалению, эта наука слабо развита в России, в связи с чем алгоритмов на русском языке очень мало, и они уже устарели. Как следствие, большинство реализованных программ используют устаревший алгоритм LSB. Таким образом, цифровая стеганография является актуальной темой. Целью данной работы является модификация и реализация современного на данный момент алгоритма.

Для изучения и реализации был выбран современный алгоритм, представленный Odai M. Al-Shatanawi и Nameer N. El. Emam [1], который основан на методе разбиения изображения на сегменты разного размера DSIS (different size image segmentations) и модифицированном методе замены наименьших значащих битов MLSB (modified least significant bits). При реализации алгоритма были проведены следующие модификации:

- используется симметричный алгоритм шифрования AES-256, для защиты стего;
- в качестве ключа для шифрования и DSIS используется хэш SHA-512 от введенного пользователем ключа;
- для сжатия, внедряемого стего используется алгоритм GZip;

- перед внедрением или чтением стего, а также после внедрения контейнер переворачивается, чтобы данные записывались не с начала изображения, а с конца;
- внедрение стего начинается с синей цветовой компоненты, т.к. человеческий глаз наименее чувствителен к изменению яркости именно синего цвета, что позволит снизить вероятность обнаружения стего.

Реализованный алгоритм был в большей степени нацелен на внедрение в контейнер большего объема данных, при сохранении незаметности изменений для человеческого глаза. Поскольку приведенные тесты позволяют обнаружить наличие стего, в алгоритме применяются дополнительные средства защиты от извлечения и чтения стего (DSIS, сжатие GZip, шифрование AES-256, использование в качестве ключа хэша SHA-512 от ключа, введенного пользователем), что делает очень трудоемкой задачей извлечение и восстановление стего.

Литература:

1. *Al-Shatanawi, O.M. A new image steganography based on denoising methods in wavelet domain. / O. M. Al-Shatanawi, N. N. Emam // International Journal of Network Security & Its Applications (IJNSA). – 2015. – No.2 : Vol.7. – С. 18-25.*

## СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ (VIPA)

**А.В. Пацан**

**Научный руководитель – к.т.н.,**

**старший преподаватель А.А. Колесников**

**Сибирский государственный университет геосистем  
и технологий, г.Новосибирск, [pacanev888@mail.ru](mailto:pacanev888@mail.ru)**

*Данная статья посвящена процессу разработки и создания программы для уникальных экспериментов по физике, химии и наблюдения за эффектами вселенной в дополненной реальности. В статье обоснована её актуальность и техническая новизна.*

*This article focuses on the design and creation of software for unique experiments in physics, chemistry and monitoring the effects of augmented reality in the universe. The article proves its relevance and technical innovation.*

Начнем с самого начала. Что такое дополненная реальность?

Данный термин все чаще возникает в нашей жизни, но что же это такое на самом деле. **Дополненная реальность** (англ. *augmented*

*reality, AR* — «расширенная реальность») — результат введения в поле восприятия любых сенсорных данных с целью дополнения сведений об окружении и улучшения восприятия информации.

Сейчас дополненная реальность охватывает всё больше сфер деятельности, медленно входя в нашу жизнь.

Детям, как известно, интересно все захватывающее, увлекательное, зрелищное и интересное. Тогда необходимо совместить эти качества с современной системой образования, для того чтобы детям было интересно начинать изучать и познавать естественные науки. Так как увлекательные эксперименты по физике и химии, со взрывами, огнем, электричеством и молниями, невозможно провести в учебном заведении, либо они очень дорогостоящие, поэтому это будет очень удобно проводить их в виртуальной лаборатории, а потом наблюдать полученный результат в дополненной реальности.

Также в программе будет наука о Вселенной – астрономия. Дополненная реальность позволяет наблюдать множество явлений астрономии недоступные для глаз человека. эффекты в черной дыре, других галактиках, в нашей солнечной системе, на других планетах, зарождение звезд и многое другое. Все это можно будет наблюдать направив устройство с камерой на картинку

Несомненно существуют и аналоги:

В области физики: Vernier Video Physics, A Slower Speed of Light.

В области химии: Chemist - Virtual Chem Lab, Элементы от Теодора Грей.

В области астрономии: Solar Walk, Stephen Hawking's Snapshots of the Universe

В данных аналогах нет дополненной реальности и работают они по принципу записи видео и работы с ним, либо эксперименты проводятся в виртуальной лаборатории, но нет вывода того что вышло в дополненную реальность. В области физики нет виртуальной лаборатории для проведения уникальных экспериментов, только стандартных, проводящихся в учебных заведениях.

Создание программы будет состоять из следующих этапов:

- Создание базы данных всех возможных экспериментов для более простого их использования пользователем, а также базы данных для астрономии;

- Создание необходимых 3D моделей в программе 3Dmax и Blender;

- Перенос всех созданных объектов в движок Unity и дальнейшее добавление необходимых эффектов в нем;

- Добавление функции AR;

- Разработка дизайна программы и пользовательского интерфейса;

Итак подведем своеобразный вывод: Эта программа даст детям понять, что естественные науки это увлекательно и интересно, дав им внутреннюю мотивацию. Вместе с этим в будущем увеличиться число квалифицированных специалистов и молодых ученых. Таким образом дополненная реальность даст «толчок» к изучению естественных наук

Литература:

1. <https://play.google.com/store?hl=ru>
2. Яковлев Б.С., Пустов С.И. Классификация и перспективные направления использования технологии дополненной [Электронный ресурс] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - №3 – 2013 URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-i-perspektivnye-napravleniya-ispolzovaniya-tehnologii-dopolnennoy-realnosti> (дата обращения 05.10.2016) – doi: 10.7463/1212.0496400.

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СЕРВЕРНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ НА БАЗЕ ОДНОКРИСТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ОС LINUX**

**М.А. Пепеляева**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент В.М. Стасышин  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, pepelyaeva@ami.nstu.ru**

*Работа посвящена разработке системы мониторинга серверных помещений. В статье затронуты вопросы выбора архитектуры системы и средств реализации, рассмотрены характерные черты выбранной архитектуры и особенности разработки ПО. Разработанная система внедрена на факультете Прикладной математики и информатики.*

*The research is devoted to server room monitoring system development. The article touches upon the issue of choice of system architecture and hardware and software for system realization. Article also deals with attributes of chosen architecture and system software development features. Today the system is introduced at the Faculty of Applied Mathematics and Computer Science.*

Сегодня для эффективной работы предприятия необходимо наличие серверного оборудования, которое, как правило, располагается в отдельном помещении. Наличие автоматизированной системы мониторинга серверных помещений позволяет упростить осуществление контроля состояния этого помещения.

Основные параметры, по которым должен осуществляться контроль, – температура, влажность и наличие фазового напряжения. Тем-

пература в помещении должна быть в пределах от +19 до +21°C – для этого необходимо кондиционирование воздуха. Влажность должна быть не ниже 40%, но и не выше 55%, при этом не должно быть конденсации влаги. Контроль наличия фазового напряжения позволит быстро среагировать при отключении электроэнергии [1].

Цель работы заключалась в разработке и реализации автоматизированной системы мониторинга серверных помещений, которая являлась бы автономной и позволяла бы осуществлять мониторинг помещения по трем основным параметрам.

В ходе работы можно выделить несколько основных этапов:

- разработка архитектуры системы мониторинга;
- выбор необходимых программных и аппаратных средств;
- реализация системы с учетом особенностей конкретного серверного помещения;
- тестирование системы.

Для данной системы была выбрана двухзвенная модель клиент-сервер, построенная таким образом, что сервер в полном объеме отвечает за обработку данных, а клиент – только за предоставление графического интерфейса пользователя [2]. Данная модель была расширена: добавлен модуль сбора информации с датчиков, модуль автономного питания и smtp-сервер для отправки почтовых уведомлений в критических ситуациях.

Для организации сервера использована система на кристалле (устройство, размещенное на одной интегральной схеме и при этом выполняющее функции целого компьютера). Такой выбор обусловлен сравнительно невысокой стоимостью и малым потреблением энергии. Для данной системы был выбран моночиповый компьютер Orange Pi PC, находящийся под управлением ОС Linux.

Для эффективной работы системы с такой архитектурой необходимы определенные программные средства, которые отвечают за ограничение и контроль прав доступа пользователя к ресурсам сервера. Наиболее распространенным решением является использование API – прикладного программного интерфейса.

За сбор данных с датчиков, установленных в помещении, отвечает аппаратная платформа Arduino Mega 2560. Обмен данными с сервером происходит с использованием интерфейса последовательного порта.

Выбранная архитектура предполагает использование модели тонкого клиента. Преимущества этой модели в том, что все данные хранятся на сервере, что позволяет упростить организацию доступа к ним. Клиент позволяет отслеживать показатели с датчиков в режиме реального времени, а также видеть динамику показателей за указанный период.

Разработанная система внедрена на факультете Прикладной математики и информатики. Планируется внедрение системы на других факультетах

Литература:

1. Буженик Д.И., Волошин Е.В. Автоматизированная система мониторинга и диспетчеризации серверных помещений [Электронный ресурс] // Научная электронная библиотека "Киберленинка": труды международного симпозиума "Наука и качество" - № - 2011. - URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizirovannaya-sistema-monitoringa-i-dispetcherizatsii-servernyh-pomescheniy> (дата обращения: 19.09.2016).
2. Крамер Д.Э., Стивенс Д.Л. Сети TCP/IP, том 3. Разработка приложений типа клиент/сервер для Linux/POSIX.: Пер. с англ. - М.: Издательский дом “Вильямс”, 2002. - с. 37 - 48.

## ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПП В ЭЭС

**Е.А. Попов**

**Научный руководитель – Ю.В. Шорников**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, filfgo@gmail.com**

*Для моделирования переходных процессов в электроэнергетических системах предложено использовать подход гибридных систем. Разработан графический язык спецификации ЭЭС и конвертер на символьный язык LISMA. Проведено тестирование на контрольном примере. Получены схожие с первоисточником результаты.*

*The hybrid system approach for simulation of transients in electrical power systems is proposed. A graphical language for EPS specification and converter to symbolic language LISMA were developed. Testing was performed. Similar to origin results were obtained.*

При проектировании электроэнергетических систем (ЭЭС) особое внимание уделяют исследованию возможных переходных процессов (ПП), связанных с нормальным функционированием системы, например, изменением потребительской нагрузки, или с аварийными ситуациями – обрывами линий электропередачи (ЛЭП), короткими замыканиями (КЗ) и т.д. Дороговизна, опасность, сложность проведения натурного эксперимента обуславливает применение методов компьютерного моделирования.

Гибридными системами (ГС) называют системы, которые одновременно обладают как непрерывным, так и дискретным поведением. В

отличие от традиционных дискретно-непрерывных систем, подход ГС включает использование алгоритма корректного обнаружения событий - переходов из одного состояния в другое [1]. В качестве событий в ЭЭС можно выделить: изменения параметров элементов, различные коммутации, КЗ, обрывы ЛЭП, действия автоматики. В существующих ведущих системах исследования ПП в ЭЭС теория ГС представлена недостаточно.

При моделировании синхронных машин (СМ) использовались уравнения Парка-Горева во вращающейся системе координат (d,q), жёстко связанной с ротором СМ [2]. ЛЭП могут быть представлены в виде П-образной схемы замещения, продольная часть которой является активно-индуктивным элементом, а поперечные – активно-ёмкостными ветвями, связанными с землёй. Трансформаторы и автотрансформаторы моделируются активно-индуктивными элементами, нагрузки и реакторы – активно-индуктивными элементами, связанными с землёй.

Сложность и громоздкость математических моделей ЭЭС привела к необходимости разработки графического языка для спецификации ЭЭС и конвертера, осуществляющего перевод с графического языка на символьный язык LISMA - входной язык ИСМА [3].

В качестве контрольного примера была рассмотрена тестовая шестимашинная схема института «Энергосетьпроект» [4]. Результаты моделирования качественно совпадают с первоисточником, а количественные различия могут быть объяснены использованием иных методов интегрирования.

#### Литература:

1. Новиков Е.А. Компьютерное моделирование жестких гибридных систем: монография / Е.А. Новиков, Ю.В. Шорников. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. 451 с.
2. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах: Учеб. для электроэнергетических систем: Учеб. для электроэнергет. спец вузов. – 4-е издание., перераб. и доп. / В.А. Веников – М.; Высш. шк., 1985. – 536 с., с ил.
3. Шорников Ю.В. Компонента спецификации моделей гибридных систем на языке «LISMA\_PDE» / Ю. В. Шорников, А. В. Бессонов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015617191. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности. 2015.;
4. Фомина Т.Ю. Разработка алгоритма расчёта переходных процессов сложных регулируемых ЭЭС: дис.... к-та техн. наук / Фомина Татьяна Юрьевна. Москва, 2014. 109 с.

# **РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ОТЧЕТОВ В РАМКАХ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НГТУ**

**Т.В. Стасышин**

**Научный руководитель – зам. директора ЦИУ О.Е. Аврунев  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, t.stasyshin@corp.nstu.ru**

*В докладе рассматриваются архитектура и возможности подсистемы Информационной системы университета, которая разработана для формирования, хранения, доставки отчетов и поддержание их в актуальном состоянии.*

*The report discusses the architecture and the possibilities of a subsystem of the Information system of the University, which is designed for creation, storage, delivery of reports and maintain them up to date.*

Информационная система (ИС) НГТУ [1-2] включает более двух десятков различных подсистем, автоматизирующих все основные процессы учебной, финансовой, хозяйственной, научной и других сфер деятельности университета. Это постоянно развивающаяся система, отслеживающая возникающие потребности пользователей – студентов, сотрудников и преподавателей университета.

Одна из задач ИС НГТУ – своевременное обеспечение пользователей отчетами с актуальной информацией о состоянии тех или иных сфер учебной, научной и финансовой деятельности университета. Хотя в ИС университета имеется множество встроенных отчетов, за дополнительными отчетами к службе, которая поддерживает ИС университета, регулярно обращаются руководители подразделений и представители администрации университета.

Задачей данного проекта является разработка более совершенной, чем до этого использовалась, подсистемы формирования, хранения, доставки отчетов и поддержание их в актуальном состоянии. При этом подсистема должна быть универсальной и обеспечивать хранение любых плоских отчетов, независимо от их структуры. Формирование очередного отчета должно осуществляться без необходимости изменения кода web-приложения.

В теории баз данных существует концепция, носящая название хранилища данных (Data Warehouse). По аналогии разрабатываемую подсистему ИС НГТУ, обеспечивающую формирование, хранение, доставку отчетов и поддержание их в актуальном состоянии, было решено назвать Report Warehouse (RWH).

Структурная схема разработанной подсистемы подготовки и доставки отчетов приведена на рисунке 1.

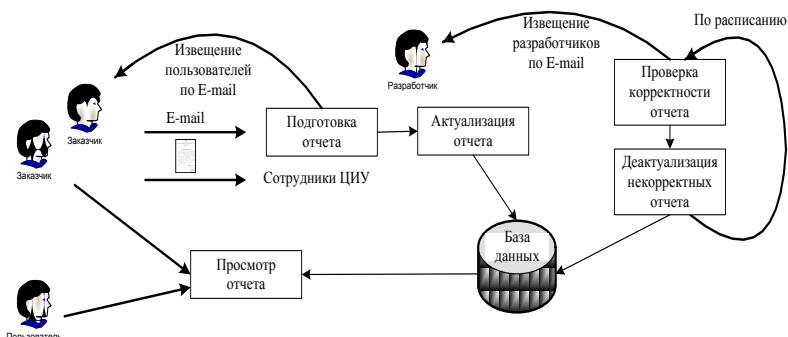


Рисунок 1. Концептуальная схема работы подсистемы RWH

Основные задачи, решаемые подсистемой Report Warehouse:

1. Получение и учет заявок от руководителей подразделений и администрации университета на формирование отчетов.
2. Хранение сформированных отчетов в базе данных ИС.
3. Оповещение заказчика (возможно, группы лиц) о готовности отчета или отказе в подготовке отчета средствами Корпоративной почтовой системы (КПС) университета.
4. Опубликование отчетов в разделе “Корпоративные ресурсы”.
5. Обеспечение авторизованного доступа на портале университета только к тем отчетам, на которые сотрудник имеет полномочия.
6. Поддержание отчетов в актуальном состоянии.
7. Выполнение по определенному расписанию проверки корректности отчетов и извещение разработчика о нарушении актуальности отчета средствами КПС.

Разработанная подсистема прошла процедуру официального внедрения. Основные потребители отчетов – руководство учебного управления, отдела кадров, администрация университета.

#### Литература:

1. Информационная система университета: опыт создания и текущее состояние /В.М. Стасышин, О.Е. Аврунев, Е.В. Афонина, К.Н. Лях // Открытое и дистанционное образование. – 2012. – № 2 (46). – С. 9-15.
2. Стасышин В.М. Центр информатизации университета: 2005-2015 гг.: Материалы к докладу на Ученом совете 25.11.2015 г. /Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск, 2015. – 8 с.

# **ОБУЧЕНИЕ СКРЫТЫХ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ С НЕПРЕРЫВНОЙ ПЛОТНОСТЬЮ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАБЛЮДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПРОПУСКОВ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯХ**

**В.Е. Уваров**

**Научный руководитель – д.т.н., профессор каф. ТПИ Попов А.А.  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, uvarov.vadim42@gmail.com**

*В данной работе сравниваются между собой методы обучения скрытых марковских моделей с непрерывной плотностью распределения наблюдений в условиях пропусков в обучающих последовательностях.*

*This paper compares several methods for training hidden Markov models with Gaussian outputs when training sequences contain gaps.*

Скрытые марковские модели (СММ) являются хорошо изученным инструментом машинного обучения, однако стандартные алгоритмы работы с СММ неприменимы при наличии пропусков в последовательностях. Известны стандартные алгоритмы преодоления пропусков: полное исключение пропусков, замещение пропусков средним, интерполяция и т. д., однако они не учитывают специфику СММ. Метод обработки пропусков с использованием СММ был предложен в [1], однако в этой работе рассматривается только задача классификации. В основе рассматриваемых в настоящей статье методов лежит стандартный и эффективный алгоритм Баума-Велша для обучения СММ. Метод маргинализации заключается в принятии вероятности эмиссии для пропуска равной единице в предположении того, что на месте пропуска могло появиться любое наблюдение. Метод восстановления по алгоритму Виттерби заключается в предварительном обучении СММ по методу маргинализации, восстановлении наиболее вероятной последовательности скрытых состояний в обучающих последовательностях, восстановлении значений на местах пропусков с использованием полученных ранее скрытых. Метод «склеивания» заключается в полном исключении пропусков из обучающих последовательностей. Метод восстановления по среднему соседних наблюдений заключается в замещении пропусков средним арифметическим значений их ближайших соседей. В данной работе рассматривались 5 ближайших соседей. Последние три метода завершаются применением алгоритма Баума-Велша. Для сравнения вышеупомянутых методов было выбрано две СММ с 3 состояниями и 3 компонентами смесей нормального распределения, которые различались лишь в матрицах вероятностей переходов. С помощью каждой из

них было сгенерировано 100 обучающих и 100 тестовых последовательностей двумерных наблюдений длиной 100. Проводилось исследование точности обучения и распознавания тестовых последовательностей при изменении процента пропусков в обучающих последовательностях (см. рисунок 1). Обозначения параметров СММ на рисунке:  $\Pi$  – распределение начального состояния,  $A$  – матрица вероятностей переходов,  $\tau$  – веса смесей,  $\mu$ ,  $\Sigma$  – мат. ожидания и ковариационные матрицы нормальных распределений. Параметры без звёздочки – оценённые, со звёздочкой — истинные.

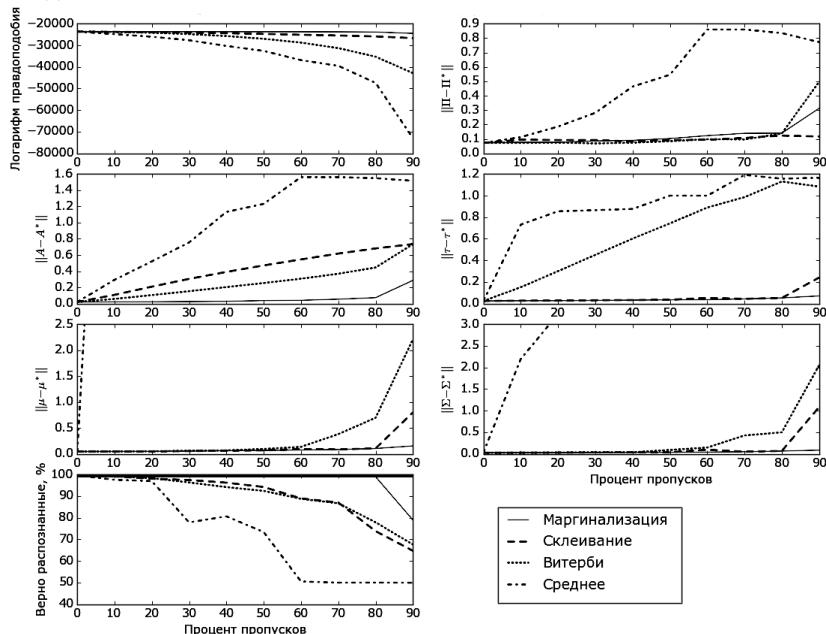


Рисунок 1 – Исследование точности обучения СММ при изменении процента пропусков в обучающих последовательностях

Как видно из результата исследований, наиболее эффективным методом является метод маргинализации. Его можно принять для дальнейшего изучения возможности его использования.

Литература:

1. Cooke M., Green P., Josifovski L., Vizinh A. Robust automatic speech recognition with missing and unreliable acoustic data // Speech Communication. – 2001. – Vol. 34, N. 3, P. – 267-285.

# АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ СОЗДАНИЕ ДИЗАЙНА СТРАНИЦЫ

О.И. Хатеев

Научный руководитель – д.т.н, профессор каф. ЭИ Т.В. Авдеенко  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, khateev@ngs.ru

*Веб-приложения становятся все сложнее, так как нужно поддерживать большое количество платформ, подстраивать интерфейсы под все большее число пользователей. Такими темпами команда дизайнеров будет расти очень быстро, поэтому весьма заманчивой кажется перспектива автоматизации рутинной работы. В сети находится огромное количество различных категорий веб-сайтов, из которых мы можем выделить типовой шаблон и использовать его в разрабатываемых продуктах. Конечно, стоит заметить, что полностью компьютер не сможет заменить человека. Но он и не должен его заменять, а только значительно увеличить качество и глубину проработки решения.*

*Web applications become more and more difficult as you need to support a large number of platforms and align the interfaces under an increasing number of users. The pace team of designers will grow very quickly, so it seems very tempting the prospect of automation of routine work. The network is a huge number of different categories of websites from which we can select a model template and use it in developing products. Of course, it is worth noting that the computer can not replace human. But he didn't have to replace it, but only significantly increase the quality and the depth of the solution.*

**Введение.** На просторах интернета находится множество сайтов различных категорий: видеохостинги, новостные порталы, блоги, интернет-магазины и т.д. Если взглянуть на структуру элементов страницы сайтов одной и той же категории, можно заметить много пересекающихся вещей. Например, на сайтах, где ищут работу, главными элементами являются списки и фильтры. Таким образом, мы можем каждой категории присвоить свой шаблон и его использовать. На данный момент таких технологий, которые выявляют и подбирают шаблоны, не очень много. Примерами могут служить:

- CMS The Grid – самостоятельно подбирает шаблоны, оформление контента, обрабатывает фотографии [1].
- Advanced Design Intelligence – предназначен для построения сайтов непрофессионалами. Его обучают множеством примеров хороших сайтов. Так же он старается учесть тематику создаваемого сайта [2].
- CMS Chorus - из большой коллекции паттернов представления статей, видео, сюжетов и других материалов алгоритм сначала

собирает в принципе гармоничные варианты, а затем оценивает их потенциальную эффективность и выбирает оптимальный[3].

**Актуальность проблемы.** Огромная часть повседневных задач, решаемых при проектировании сайта, является более чем утилитарной и не требует революций. Например, создание однотипной графики в разных вариациях занимает много времени, которое можно было бы потратить на более продуктивную работу. Такие процессы можно автоматизировать алгоритмами, которые на вход получают правила и паттерны, а на выходе генерируется множество вариантов дизайна. Человек при этом так же участвует в процессе создания. Например, дизайнер и разработчик описывают логику обработки входящих сигналов — контента, контекста, информации о пользователе и его действиях, а дальше алгоритм сам формирует экраны на основе готовых паттернов и принципов. Это позволяет добиться тонкой подстройки под конкретную узкую ситуацию или сценарий без необходимости вручную прорисовывать и разрабатывать десятки состояний экрана. Автоматизации создания дизайна позволит:

- Получать прототипы отдельных состояний экранов в кратчайшие сроки.
- Снять часть нагрузки по поддержке продукта с дизайнера.
- Упрощает запуск новых и поддержку старых продуктов.

**Вывод.** С ростом вычислительных возможностей компьютеров мы можем обрабатывать большие объемы данных и использовать их анализ для наших нужд. Если рассматривать в контексте дизайна страниц, мы можем получать дизайн – решения: построение интерфейса, подготовка графики и контента.

Литература:

1. Website CMS The Grid. [Электронный ресурс]. - URL: <https://thegrid.io/-15.10.2016>
2. Budds D.. “Can you teach AI to design? Wix thinks so”. [Электронный ресурс]. -URL: <https://www.fastcodesign.com/3060934/can-you-teach-ai-to-design-wix-is-trying> -15.10.2016.
3. Young J. “Algorithmic design: How Vox picks a winning layout out of thousands”. [Электронный ресурс] //Статья из блога компании Vox. -URL: <http://product.voxmedia.com/2014/12/17/7405131/algorithmic-design-how-vox-picks-a-winning-layout-out-of-thousands> - 15.10.2016.

# ПОСТРОЕНИЕ РОБАСТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПО МЕТОДУ ОПОРНЫХ ВЕКТОРОВ С КВАДРАТИЧНОЙ ФУНКЦИЕЙ ПОТЕРЬ

В.В. Холкин

Научный руководитель – д.т.н., профессор А.А. Попов  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, sekvenciadominor@mail.ru

Рассматривается задача восстановления устойчивой зависимости по методу опорных векторов с квадратичной функцией потерь, предложенная Йоханом Сайкенсом. Этот метод относится к непараметрическим алгоритмам, использующим ядерные функции. Исследования будут проведены на модельных данных с разными распределениями ошибок наблюдения.

*The problem of restoring stable depending on the method of support vector machine with a quadratic loss function proposed by Johan Saykens. This method relates to the non-parametric algorithms using kernel functions. Research will be conducted on the simulated data with different distributions of the errors of observation.*

Существует много задач по прецедентам или, еще говорят, с ответами учителя. К ним относятся задачи регрессии. Эти задачи довольно широко распространены в повседневности. В частности в этой работе будет описан метод под названием — метод опорных векторов наименьших квадратов(LS-SVM) и его модификация взвешенный LS-SVM(W-LS-SVM).

LS-SVM имеет как плюсы, так и минусы. В сравнении со стандартным SVM, разреженность решения теряется. Каждая точка является опорной, в отличие от SVM, где число опорных векторов может быть меньше числа наблюдений. Ещё один недостаток - это использование стандартной квадратичной функции потерь, что может приводить к неустойчивым решениям в случае использования данных с выбросами. Целью данной работы является показать, что можно преодолеть недостатки, касающиеся устойчивости в рамках LS-SVM. Следует отметить, что параметры модели SVM, вычисляются как решение линейной системы уравнений, которые определяются через минимизацию соответствующей функции потерь. В то же время, качество решения во многом определяется надлежащим выбором гиперпараметров[1].

Имеется обучающий набор данных из N точек  $\{x_k, y_k\}_{k=1}^N$  с входными данными  $x_k \in R^n$  и выходными данными  $y_k \in R$ . Сначала рассмотрим следующую проблему оптимизации [2] :

$$\min_{w,b,e} J(w,e) = \frac{1}{2} w^T w + \frac{1}{2} \gamma \sum_{k=1}^N e_k^2,$$

Здесь  $\varphi(\cdot) : R^n \rightarrow R^{n_k}$  функция, которая отображает входное пространство в пространство признаков,  $w \in R^{n_k}$  вектор параметров в исходном пространстве; помехи  $e_k \in R$  и смещение  $b$ .

В результате после решения оптимизационной задачи, полученная модель LS-SVM для функциональной оценки будет иметь вид

$$y(x) = \sum_{k=1}^N \alpha_k K(x, x_k) + b.$$

Взвешенный метод LS-SVM реализуется через итерационную схему. На начальном этапе получаем обычное решение по LS-SVM. На последующих этапах ошибки взвешиваются. Исследования были проведены на модельных данных. Модельная функция  $y(x) = \sin(x)/x$ . Рассмотрены случаи, когда ошибки имели распределение нормальное, гамма и Лапласа.

Были проведены исследования алгоритмов LS-SVM и W-LS-SVM. Цель исследований состояла в том, чтобы построить устойчивое решение по методу опорных векторов с квадратичной функцией потерь. Проведенные вычислительные эксперименты позволили сделать ряд заключений. При увеличении процента выбросов распределённых по Лапласа, гамма, нормальному законам, оценка MSE ухудшалась; виден выигрыш алгоритма W-LS-SVM над LS-SVM. При увеличении доли мощности сигнала и при 20-ти % выбросов, оценка MSE ухудшалась, виден выигрыш алгоритма W-LS-SVM над LS-SVM. В дальнейшем планируется продолжить исследования в этом направлении.

Литература:

1. N. Cristianini, J. Shawe-Taylor An Introduction to Support Vector Machines / Cambridge University Press. – Cambridge, 2000. – 187 p.
2. Johan A.K. Suykens, Tony Van Gestel, Jos De Braban Least Squares Support Vector Machines / World Scientific Publishing. – Belgium, 2002. – 294 p.

# **СИСТЕМА СБАЛАНСИРОВАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, КАК ИНСТРУМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЯ РЫНКА**

**К.Т. Чавдар**

**Научный руководитель – к.э.н, доцент А.М. Каширина  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, balakinak87@mail.ru**

*Основное внимание автор концентрирует на необходимости введения новых интегрируемых в систему показателей для возможности исследования рынка, а не только внутренних процессов компании, как это было в классической системе сбалансированных показателей.*

*The main attention author concentrates on the necessity to introduce a new indicators integrable in the scorecard for market's research, not for only internal processes of the company, as it was in the classic balanced scorecard.*

В современной рыночной экономике для достижения успеха в той или иной отрасли компаниям необходимо быстро реагировать и адаптироваться к любым изменениям и быть на шаг впереди своих конкурентов по качеству, ассортименту предлагаемых услуг и цене. Только своевременное получение необходимой информации о текущей деятельности и положении конкурентов поможет руководству принять верное решение и успешно его реализовать.

Одним из активно внедряемых инструментов стратегического анализа на рынке в данный момент является система сбалансированных показателей. Успешно действующая система позволяет на основе измерения и оценки набора оптимально подобранных показателей, отражающих все аспекты деятельности компании, исследовать не только финансовые и нефинансовые показатели, основные и вспомогательные параметры, а также внутренние и внешние факторы деятельности.

Д.Нортон, Р.Каплан и Д.Ленсколд были одними из первых, кто рассмотрел идею системы сбалансированных показателей. В основе их исследований лежит оценка маркетинга компаний с помощью некоторых показателей. Но стоит отметить, что Д.Ленсколд использовал только один показатель, что не могло отражать полной оценки компании. Система Д.Нортона и Р.Каплана имеет много достоинств, но также не позволит провести полный анализ деятельности компании и исследование рынка. Классическая система показателей разделяется на четыре области для оценки компании: финансы, клиенты, внутренние бизнес-процессы, обучение и рост персонала [1]. Данный подход не охватывает всех факторов деятельности, в связи с этим многие компании не просто внедряют классическую систему, но и добавляют необходимый пе-

речень показателей, связанный с профессиональной деятельностью компании. В условиях рыночной борьбы и обилия конкурентов во всех сферах деятельности особое место уделяется исследованию рынка. Своевременный сбор, систематизация и анализ релевантной информации по недостающим классической системе показателям позволит повысить «интеллектуальность» и оперативность принятия перспективных решений, уменьшит время реагирования и позволит предоставлять новые пакеты услуг для потребителей опережая конкурентов.

Выбранная тема является актуальной на сегодняшний день, так как в условиях жесточайшей конкуренции, нестабильной экономики и политики для стабильного развития и динамичного роста необходимо пристально следить за изменениями, происходящими внутри компании и на рынке в целом.

Введение сбалансированных показателей, позволяющих исследовать рынок, увеличит клиентоориентированность компании, тем самым поток клиентов; усовершенствует процесс принятия решений, так как они станут более обоснованными; позволит проанализировать рыночную привлекательность компаний, за счет оценки существующих конкурентов и положения на рынке, тем самым повысив конкурентоспособность; расширит информационную компетентность и уменьшит скорость реагирования для создания и применения инновационных решений в рамках компаний. Все это влечет за собой огромную выгоду для компаний, позволяет эффективно управлять и контролировать все показатели рынка и клиентов.

#### Литература:

1. R.S. Kaplan, D. Norton. Using the Balanced Scorecard as a Strategic Management System // Harvard Business Review, 1996. - 134 p.

### АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МНОГОКАНАЛЬНОГО ПИРОМЕТРА В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ ФОНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**Н.С. Чернышева, А.Б. Ионов**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Б.П. Ионов**

**Омский государственный технический университет,  
г. Омск, nadejda13.90@mail.ru**

*Предложен алгоритм обработки данных для экспериментального образца интеллектуального пирометра, ключевая задача которого является нейтрализация влияния фонового излучения на показания прибора. Приведены результа-*

*ты имитационного моделирования демонстрирующие эффективную работу алгоритма.*

*The processing algorithm is presented for the experimental model of an intelligent radiation thermometer for the non-contact temperature measurements. The key task of the instrument is to design an approach to neutralize the influence of the background radiation on the device's readout. The result of simulations shows that effective the algorithm.*

В настоящее время главной проблемой пирометрии является точность измерений приборов [1]. Поле зрения пирометра представляет собой некоторую область, размеры которой увеличиваются при удалении прибора от объекта контроля. Таким образом, при дистанционном измерении температуры объектов, имеющих малые размеры или сложную форму, в поле зрения прибора может попасть фон, который будет непосредственно влиять на показания прибора. Самые распространённые на данный момент, одноканальные системы измерения температуры позволяют получить достоверные результаты только в случае, когда фоновым излучением можно пренебречь (например, объект на низкотемпературном фоне), если же влияние фона значительное, то такие приборы показывают критические погрешности.

Для качественного определения температуры при наличии фонового излучения предложено использовать разработки многоканальной пирометрии, которые подразумевают применение нескольких оптических приемников для одновременной регистрации излучения в различных спектральных диапазонах [2]. Такая система имеет сложное конструктивное решение, и требуют разработку алгоритма, специализированного под рассматриваемую измерительную модель.

Измерительная модель, позволяющая качественно описать ситуацию, возникающую при влияние фонового излучения на показания пирометра, состоит из пяти параметров: температура объекта контроля  $T_{об}$ ; температура фона  $T_f$ ; коэффициент излучения объекта  $\varepsilon_{об}$ ; коэффициент излучения фона  $\varepsilon_f$ ; соотношение площади объекта, попадающего в поле зрения прибора, к общей площади поля зрения  $D$ .

Экспериментальный образец пирометра содержит пять каналов регистрации излучения, что дает возможность одновременно оценивать все пять параметров и за счет чего появляется информационная избыточность, позволяющая получить не только оценку температуры, но и ее достоверность.

Алгоритм работы пирометра основан на подборе значений параметров модели, при которых реальные выходные сигналы приемников излучения будут соответствовать своим расчетным величинам (с некоторым уровнем допуска). Итоговое значение параметров выбирается из

условий минимума среднего отклонения между реальными и расчетными сигналами. При этом, величина отклонения определяет степень достоверности оценки. Если ни одна комбинация параметров не приводит к удовлетворительному результату, алгоритм сообщает о неадекватности текущей измерительной модели, и переходит в другой режим работы. Алгоритмом рассматривается три последовательных режима: 1) излучение фона пренебрежительно мало; 2) объект на однородном фоне; 3) модель является не адекватной текущим условиям.

На рисунке 1 изображены результаты проведенного экспериментального исследования, демонстрирующие эффективность предложенного алгоритма работы интеллектуального пирометра в условиях влияния фонового излучения.

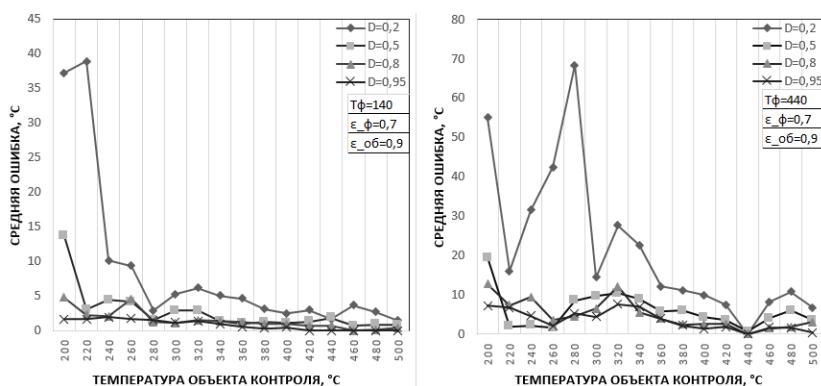


Рисунок 1 – Зависимость средней ошибки прибора

#### Литература:

1. Вавилов, В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль: монография. – М.: ИД Спектр, 2009. – 544 с.
2. Магунов А.Н. Спектральная пирометрия. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 248 с.

# АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПЗС-ФОТОПРИЕМНИКОМ

С.Д. Чибурун

Научный руководитель – Ю.Л. Кравченко

Филиал ИФП СО РАН «КТИ ПМ»,

г. Новосибирск, csd83@ya.ru

*Разработан электронный модуль, позволяющий гибко настраивать режим работы практически любого ПЗС-фотоприемника и задавать параметры выходного видеотракта так, как требуется для целевого устройства применения.*

*The paper describes an electronic module that allows to customize the operation of most CCD image sensors flexibility, and to setup the parameters of the output video path as required for the target application.*

Существует два основных способа управления фотоприемниками на базе приборов с зарядовой связью (ПЗС): управление ПЗС-матрицами может осуществляться либо с помощью специальных генераторов сигналов вертикальной и горизонтальной развертки, рекомендуемых производителями матриц, либо с помощью программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС). Для многофункциональных устройств, таких как цифровые приборы наблюдения, интеллектуальные круглосуточные системы видеонаблюдения, цифровые прицелы и охранные системы предпочтителен второй вариант. Таким устройствам необходимы электронная обработка полученного с ПЗС-матрицы изображения и автоматическое управление экспозицией кадра, которые осуществляются с помощью ПЛИС или высокопроизводительного процессора.

В настоящей работе решалась задача разработки аппаратно-программного модуля на основе ПЛИС, осуществляющего:

1. формирование сигналов управления ПЗС-фотоприемником и ПЗС-процессором,
2. получение оцифрованного с помощью ПЗС-процессора изображения,
3. автоматическая регулировка усиления и электронного затвора,
4. формирование выходного параллельного цифрового видеотракта с необходимыми параметрами для дальнейшей передачи полученных данных на внешние устройства захвата и обработки изображения.

Модуль состоит из двух плат, на одной из которых находится ПЗС-матрица, ПЗС-процессор и вся необходимая аналоговая связь этих ключевых компонентов (Рисунок 1), а на второй ПЛИС (Рисунок 2).

Таким образом, аналоговая и цифровая части устройства полностью разнесены и взаимовлияние компонентов сведены к минимуму.

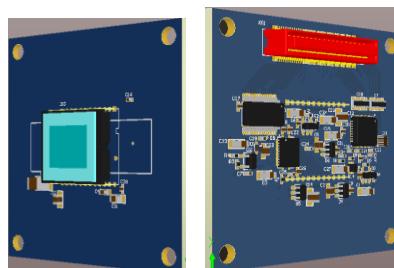


Рисунок 1 – Плата сенсора

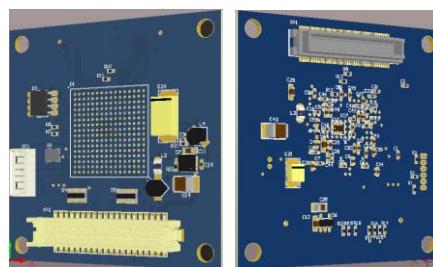


Рисунок 2 – Плата управления

Программная часть модуля позволяет использовать его для управления практически любыми существующими ПЗС-фотоприемниками. На этапе компиляции задается число управляющих сигналов, их форма, а также разрешение изображения ПЗС-матрицы, кадровая и пиксельная частоты, разрядность получаемых цифровых данных.

Такой подход позволяет оптимально подобрать режим работы ПЗС-матрицы под требуемые параметры и настроить выходной протокол согласно требованиям устройства захвата и обработки изображения, а также получить преимущество по энергопотреблению.

Разработанный модуль в настоящее время используется в составе экспериментального круглогодичного всепогодного прибора наблюдения.

Литература:

1. Голицын А.А., Сейфи Н.А., Программный модуль управления ПЗС-фотоприемником // Наука, образование, бизнес: Материалы Всероссийской научно-практической конференции ученых, преподавателей, аспи-

рантов, студентов, специалистов промышленности и связи, посвященный 15-летию ИРСИД. – Омск: Изд-во КАН, 2012, с.150–151

2. Голицын А.А., Сейфи Н.А., Электронный модуль цифровой обработки изображения для устройства круглосуточного наблюдения // Вестник Новосиб. гос. ун-та. Серия: Физика. 2012. Т. 7, вып. 3, с. 129–136

## КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ДЛЯ ПОИСКА ЭФФЕКТИВНОГО ТЕСТА ПРОСТОТЫ ЧИСЛА

**Ю.В. Шабля, В.С. Мельман**

Научный руководитель – Д.В. Кручинин

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, shablya-yv@mail.ru

*В данной работе рассматриваются математические аспекты криптографических систем – проверка натуральных чисел на простоту. Приведен комплекс программ для поиска эффективного теста простоты числа.*

*In this paper we consider the mathematical aspects of cryptographic systems – checking natural numbers for primality. We have introduced a set of software to search for an effective primality test.*

В современной криптографии с открытым ключом существует проблема генерации целочисленных параметров криптографических алгоритмов, которые по своей сути должны являться простыми числами [1]. На данный момент не существует эффективного алгоритма, способного детерминированно (без малейшей ошибки) сгенерировать большое простое число за полиномиальное время, и который можно было бы применить на практике.

Среди алгоритмов определения простоты числа можно выделить:

- детерминированные тесты простоты числа, которые не имеют ошибки, но имеют большую оценку по вычислительной сложности и не могут применяться на практике;

- вероятностные тесты простоты числа, которые выдают результат достаточно быстро относительно детерминированных тестов простоты числа, но при этом возможна такая ситуация, когда алгоритм ошибется.

Авторами предлагается использовать введенный в статье [2] подход для получения выражений (критерии простоты числа), на основе которых становится возможным создания новых тестов простоты числа. Суть данного подхода выражается в следующем свойстве:

Свойство 1: Пусть  $B(x) = \sum_{n \geq 0} b_n x^n$  и  $F(x) = \sum_{n > 0} f_n x^n$  – обыкновенные производящие функции с целыми коэффициентами,  $F^\Delta(n, k)$  – композита производящей функции  $F(x)$ . Тогда значение выражения

$$\sum_{k=1}^{n-1} \frac{F^\Delta(n, k) b_{k-1}}{k}$$

целое для всех простых  $n$ . Обратное утверждение неверно.

На основе приведенного свойства становится возможной генерация огромного количества новых критериев простоты числа. С целью частичной автоматизации данного процесса разработано программное обеспечение «Primality Criteria Generator» [3]. При использовании данной программы действия пользователя сводятся к минимуму, что ускоряет процесс генерации новых критериев простоты числа.

Так как количество генерируемых критериев простоты числа быстро увеличивается, а изучение на пригодность каждого из них занимает большое количество времени, то возникает необходимость в автоматизации процесса анализа критериев простоты числа. Для этого разработано программное обеспечение «Primality Test Analyser» [4], которое позволяет проводить анализ полученных критериев простоты числа, а также позволяет сравнивать их с уже существующими тестами простоты числа.

Для реализации математических вычислений в разработанных программах используется система компьютерной алгебры «Maxima» [5], которая специализируется в символьных вычислениях.

Используя комплекс указанных программ, планируется сгенерировать набор критериев простоты числа и провести их анализ на пригодность для использования в новом эффективном teste простоты числа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части Государственного задания ТУСУР на 2015-2016 год (проект № 3657).

Литература:

1. Song Y. Primality testing and integer factorization in public-key cryptography. – Springer, 2009.
2. Kruchinin D.V., Shablya Y.V. New properties for a composition of some generating functions for primes [Электронный ресурс] – 2015. – URL: <http://arxiv.org/abs/1109.1683> (дата обращения: 05.10.2016).

3. Шабля Ю.В., Кручинин Д.В., Шелупанов А.А. Генератор критериев простоты натурального числа на основе свойств композиции производящих функций // Доклады ТУСУРа. – 2015. – №4 (38). – С. 97-101.
4. Кручинин Д.В., Шабля Ю.В. Программное обеспечение для анализа тестов простоты натурального числа // Доклады ТУСУРа. – 2014. – №4 (34). – С. 95-99.
5. Maxima, a Computer Algebra System [Электронный ресурс]. – 2015. – URL: <http://maxima.sourceforge.net> (дата обращения: 05.10.2016).

**Секция ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ,  
СТАТИСТИКА И ЭКОНОМЕТРИКА**

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ПРОГНОЗОВ**

**Т.А. Алетдинова**  
**Новосибирский государственный университет,**  
**г. Новосибирск, aletdinova@corp.nstu.ru**

*В работе сгруппированы методы прогнозирования. Предложено использовать их различное сочетание в зависимости от характеристик социально-экономических процессов.*

*In this paper we are grouped forecasting methods. It is proposed to use a combination of different methods depending on the characteristics of the socio-economic processes.*

Любая работа требует от человека осмысления целей, порядка действий и возможных результатов. Эта координация намечаемых мер, опосредованная планом, помогает добиться успехов с меньшими затратами по принципу «минимум средств – максимум результата».

В настоящее время в отечественной теории и практике существует множество различных классификаций не только видов прогнозов процессов, но и методов прогнозирования. Каждый исследователь руководствуется своими признаками, подходами, критериями. Как и всякая другая, классификация методов прогнозирования является в значительной мере условной. Выбор вида или метода прогноза зависит от целей прогнозирования и характеристик объекта. Окончательный выбор осуществляется в результате анализа ситуации, выявления тенденций и закономерностей.

Для прогнозирования социально-экономических процессов необходимо использовать системный подход. Он позволяет на научной основе соотнести цели развития системы и необходимые для их достижения ресурсы, предупреждая принятие субъективных решений [1].

Все методы прогнозирования можно объединить в две группы, которые кардинально отличаются друг от друга.

Первая группа включает в себя методы экспертных оценок, исторических аналогий и прогнозирования по образцу.

Вторая группа объединяет методы:

- прогнозной экстраполяции;
- моделирования;

- экономико-математические;
- экономического анализа.

Отличительными особенностями методов, относящихся к первой группе, является получение результатов, выполненных на основе мнений экспертов, на их интуиции. Обработка информации не требует сложных математических методов и моделей. Недостатком данного метода является субъективизм.

При разработке прогнозов на основе методов второй группы используется математический аппарат, содержащий формулы, логические конструкции, графики (сетевые, граф-модели), матрицы и т.д. В результате использования методов этой группы возникают неточности, обусловленные несовершенством этого аппарата (сложность сбора информации, ее обработки, построения моделей, ошибки расчетов и т.д.). Кроме того, если работа с количественными показателями не вызывает трудностей, то качественные – не всегда возможно описать математически.

Прогнозирование социально-экономического процесса в отличие от прогнозирование показателей осуществить достаточно сложно, т.к. процесс определяется как явление, непрерывно изменяющееся с течением времени под воздействием экзогенных и эндогенных факторов.

Для различных ситуаций при прогнозировании социально-экономического процесса следует использовать комбинация методов: с одной стороны методы статистического моделирования и экономического анализа, а с другой – экспертных оценок и аналогий. Тогда недостатки одних методов будут компенсироваться достоинствами других, т.е. полученные расчетные значения прогноза будут дополняться или корректироваться мнением экспертов. Причем такая корректировка необходима не только в момент получения результата прогноза, но и непосредственно в процессе его реализации.

Такая комбинация методов в ходе разработки прогноза образует некую систему органического единства методов, способов, организации и технологии разработки прогнозов, обеспечивающую внутреннюю согласованность, достоверность, доказательность.

Обязательным условием успешного прогнозирования является понимание сущности прогнозируемых процессов, так как в противном случае вместо прогноза будут выполнены формальные расчеты, не имеющие смысла.

Литература:

1. Новоселов Ю.А. Социально-экономическое прогнозирование: учебное пособие. – Новосибирск: СибУПК, 2010. – Часть 1. – 132 с.

# УСТОЙЧИВОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ СТРУКТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА СМЕШАННОЙ УСТОЙЧИВОЙ РЕГРЕССИИ

Е.П. Архипенко

Научный руководитель – к.т.н., доцент каф. ТПИ Е.А. Хайленко  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, ev.arkhipenko@yandex.ru

*В работе разработан и исследован алгоритм нахождения оценок методом смешанной устойчивой регрессии, позволяющий получить оценки в условиях появления ошибок в объясняющих переменных, а также значительно снизить влияние выбросов на оценки неизвестных параметров. Реализованный метод был применен к решению реальной практической задачи.*

*The new algorithm of robust compound regression method is developed and investigated in this work. This algorithm allows to receive estimates of regression models parameters in errors-in-variables conditions and also to reduce influence of outliers on estimates of unknown parameters. The implemented method was applied to the solution of real practical problems.*

На практике исследователям часто приходится сталкиваться с задачами оценивания неизвестных параметров регрессионных зависимостей.

Наиболее широко используемыми методами оценивания неизвестных параметров являются метод наименьших квадратов (МНК) и метод максимального правдоподобия (ММП). Однако эти методы, как правило, эффективны только в случае работы с идеализированными данными, на практике же нередко встречаются ситуации наличия аномальных наблюдений в выборке и ошибок в объясняющих переменных. Кроме того для построения оценок максимального правдоподобия и обеспечения их хороших свойств необходимо наличие априорной информации о виде распределения ошибок, что вызывает определенные трудности в его реализации, а МНК не учитывает появление ошибок в объясняющих переменных, что приводит к получению смещенных оценок. Поэтому для работы с такими данными необходимо использовать специальные устойчивые методы оценивания неизвестных параметров.

Известные методы оценивания параметров структурных зависимостей требуют наличия априорной информации о величине дисперсии в объясняющих переменных (например, скорректированный метод наименьших квадратов (ALS) [1]).

Одним из устойчивых методов оценивания параметров, который не требует такой информации, является метод смешанной устойчивой регрессии (RCR) [2,3]. Данный метод получает оценки параметров структурных зависимостей путем минимизации взвешенного среднего суммы квадратов взвешенных вертикальных расстояний и суммы квадратов взвешенных горизонтальных расстояний:

$$SS_{RCR} = \gamma_0 \sum_{i=1}^N \frac{(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{R_i^2} + \gamma_1 \sum_{i=1}^N \frac{(X_{1i} - \hat{X}_{1i})^2}{R_i^2} + \dots + \gamma_p \sum_{i=1}^N \frac{(X_{pi} - \hat{X}_{pi})^2}{R_i^2}$$

при условии

$$\sum_{j=0}^p \gamma_j = 1,$$

где  $\gamma_j$  - некоторые веса,  $0 \leq \gamma_j \leq 1$ ,  $j = 0, 1, \dots, p$ ,  $p$  - число объясняющих переменных,  $R_i$  - расстояние от  $i$ -го наблюдения до центра масс.

В данной работе разработан оригинальный алгоритм нахождения оценок методом RCR, где оценки вычисляются путем максимизации функции эффективности [2]. Проведенные исследования показали, что метод малоочувствителен к выбросам и позволяет производить устойчивое оценивание моделей с ошибками в объясняющих переменных в условиях засорения выборки как вертикальными, так и горизонтальными выбросами, а также их смесью. С помощью реализованного метода была решена задача анализа успеваемости студентов НГТУ факультета мехатроники и автоматизации.

Литература:

- Cheng C.-L. Polynomial regression with errors in the variables // J. Roy. Statist. Soc. Ser. B. – 1998. – Vol.60. – P. 189-199.
- Hao Han. Least Sine Squares and Robust Compound Regression Analysis [Electronic resource] // Stony Brook. – 2011, december. – URL: [https://ir.stonybrook.edu/ispui/bitstream/11401/71254/1/Han\\_grad\\_sunysb\\_0771E\\_10819.pdf](https://ir.stonybrook.edu/ispui/bitstream/11401/71254/1/Han_grad_sunysb_0771E_10819.pdf) (accessed 20.02.2016).
- Hao Han. RCR: Robust Compound Regression for Robust Estimation of Errors-in-Variables Model [Electronic resource] // Stony Brook. – 2011, december. – URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1508/1508.02925.pdf> (accessed 27.02.2016).

# **СОЗДАНИЕ ПРОГНОЗНОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

**Н.В. Бедарев, К.В. Красникова**

**Научный руководитель – д.т.н., проф. В.И. Хабаров**

**Сибирский государственный университет путей сообщения,  
г. Новосибирск, bednikita@yandex.ru**

*В данной статье рассмотрены подходы имитационного моделирования для конкретной задачи. Результатом работы является создание имитационной модели железнодорожного перегона, с возможностью сбора железнодорожной статистики.*

*This article describes the modeling approaches for a specific task. The result is the creation of a simulation model of a railroad haul, with the possibility of collecting railway statistics.*

При длительных перерывах в движении поездов по причине событий различной природы требуется оперативно найти решения по устранению простоев. Экономическую оценку от потерь составляют поездо-часы, связанные с серьезными нарушениями графика движения, вынужденными остановками, действиями ограничения скоростей движения поездов при устранении последствий событий, а также резервные пробеги локомотивов.

При возникновении нештатной ситуации на перегоне решение по управлению поездами принимают поездные диспетчеры совместно с дежурными по станциям. Для обоснования верного решения по организации движения, диспетчер должен оперативно проанализировать текущую обстановку и принять во внимание все условия и аспекты организации движения. Ручная обработка полного набора подобных данных приводит к высоким трудозатратам. Большинство потерь принимаются по факту, уже после свершения какого-либо события, нарушившего движение.

Целью исследования является создание прогнозной модели движения поездов в качестве системы DSS.

Объектом моделирования является участок Мариинск-Инская Западно-Сибирской железной дороги.

Исходными условиями для модели служат:

- перечень нештатных ситуаций и годовая статистика по их устранению;
- данные о моделируемом участке (длины перегонов, разрешенные скорости движения, количество путей);

- суточные план-графики движения поездов.

В основе системы DSS лежит агентный подход. Агенты железнодорожной сети относятся к узкому классу транспортных агентов, которые наследуются от универсальных. Рассматриваемая модель содержит простые рефлексивные агенты: агент-поезд (наследуемый от него: агент-грузовой поезд, агент-пассажирский поезд, агент-пригородный поезд), агент-станция, агент-перегон, агент-диспетчер.

Преимущество данного подхода заключается в более естественном описании моделей. Каждый тип агента задается своей логической схемой поведения (диаграммой состояний) и набором параметров.

Например, у поездов каждой категории (пассажирский, грузовой, пригородный) есть свои состояния: на начальной станции, в пути, на промежуточной станции, на конечной станции. Например, изменение состояний одних агентов влияет на изменение состояний других. Помимо взаимного влияния агентов друг на друга, существует возможность внесения внешних воздействий на агентов со стороны, например, в качестве диспетчера станции.

Агент-диспетчер имеет:

- цель - выполнить график движения поездов по обслуживаемому им участку без простоев с улучшенными коэффициентами работы;
- поведение - рассчитать время стоянки поезда на станции (вне расписания) в зависимости от ситуации; определить порядок отправления задержанных поездов; контролировать работу других агентов, передавая и получая информационные сообщения.

Пользователь обладает следующими возможностями:

- смоделировать движение поездов в штатном режиме;
- смоделировать движение в случае непштатной ситуации и ограничений скорости;
- получить прогнозный график движения поездов на сутки.
- получить данные о задержках поездов;

Дальнейший этап работы подразумевает реализацию по предложению альтернативных маршрутов, а также пропуск поездов по неправильному пути в случае полного перекрытия одного из направлений.

Готовая модель перегона в зависимости от внешних воздействий позволит смоделировать ситуацию на выбранном участке, а также

собрать железнодорожную статистику, что позволит диспетчерскому аппарату принять решение о перераспределении транспортного потока и понизить потери при движении поездов.

Литература:

1. Замятин Е.Б. Современные теории имитационного моделирования: Специальный курс. - Пермь: ПГУ, 2007. - 119 с.
2. Карпов, Ю. Г., «Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5». — СПб: БХВ-Петербург, 2006. — 400 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗОВ НА ТРУДОУСТРОЙСТВО ВЫПУСКНИКОВ**

**К.Р. Верещагин**

**Научный руководитель – к.э.н. А.Ю. Тимофеева**

**Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, mitskiy95@gmail.com**

*Исследованы взаимосвязи между показателями эффективности деятельности ВУЗа и процентом трудоустроенных выпускников в России. Были оценены коэффициенты эластичности, которые показали, что наибольшее влияние на показатель трудоустройства выпускников оказывает образовательная деятельность.*

*We investigated the relationship between indicators of the performance of activities of the university and the percentage of graduates employed in Russia. We estimated coefficients of elasticity, which showed that educational activities have the greatest impact on graduate employment rate.*

По окончанию университета выпускник встречается с множеством проблем при устройстве на работу. Например, при просмотре резюме работодатель первым делом обращает внимание на наличие высшего образования и на место его получения, и, если ВУЗ имеет низкий показатель эффективности деятельности, то выпускнику будет труднее устроиться на свою первую работу. Поэтому данное исследование направлено на изучение взаимосвязи между показателями эффективности деятельности ВУЗа, для выявления их влияния на трудоустройство.

Для исследования использованы первичные данные Главного информационно-вычислительного центра, а именно данные мониторинга эффективности деятельности образовательных организаций высшего образования за 2015 год [1]. В мониторинге

собираются первичные данные от ВУЗов, и затем проводится более детальный анализ. Визуальный анализ корреляционных полей позволил выявить аномальные наблюдения, которые были удалены перед проведением дальнейшего анализа.

Эконометрический анализ влияния показателей деятельности ВУЗа на трудоустройство выпускников был проведен при помощи парных регрессионных моделей. В силу особенностей анализируемых показателей, а именно наличия погрешностей во входных факторах, наряду с прямыми регрессиями были построены обратные и диагональные.

Далее было проанализировано, какой из показателей деятельности ВУЗа оказывает большее влияние. На основе средних коэффициентов эластичности (Таблица 1) сделан вывод, что наибольшее влияние, по сравнению с остальными показателями, имеет образовательная деятельность (ОД). Также обнаружено, что в целом на трудоустройство выпускника могут влиять такие показатели, как международная деятельность (МД) и научно-исследовательская деятельность (НИД) ВУЗа, которые слабо взаимосвязаны.

Таблица 1 – Средние коэффициенты эластичности

Факторы	Прямая	Диагональная	Обратная
ОД	0.17	0.94	4.98
НИД	0.02	0.14	0.84
МД	0.008	0.13	2.28

НИД в свете современных требований к оптимизации учебной деятельности студентов, вовлечения их в среду научно-исследовательских работ является важным элементом формирования их профессиональной компетентности [2].

Таким образом, улучшить показатель трудоустройства выпускников можно благодаря повышению среднего балла ЕГЭ, для увеличения привлекательности ВУЗа, сотрудничеством с иностранными университетами для повышения эффективности МД, повышением технологической базы ВУЗа, привлечением инвестиций, а также акцентированию внимания на НИД для повышения общего уровня образования студентов.

Литература:

1. Министерство образования и науки Российской Федерации::  
Главный информационно-вычислительный центр  
<http://indicators.miccedu.ru/monitoring/>

2. Андросова Е. В. Оценка эффективности трудоустройства выпускников вузов (гендерный аспект) [Текст] //Экономическая наука и практика: материалы II междунар. науч. Конф — Чита: Издательство Молодой ученый, 2013. — С. 60-62.  
<http://moluch.ru/conf/econ/archive/75/3239/>

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА КЛАСТЕРОВ В МОДЕЛИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

И.А. Ершов

Научный руководитель – зав. кафедрой, д.т.н. О.В. Стукач  
Томский политехнический университет,  
г. Томск, [zaragik@yandex.ru](mailto:zaragik@yandex.ru)

Обсуждается проблема моделирования процессов в электронной промышленности. Разработана простая методика применения кластерного и регрессионного анализа для решения данной задачи. Приводится пример применения методики на конкретных данных с предприятия полупроводниковой индустрии Томска. Данные представляют собой результаты промежуточного контроля интегральных микросхем на протяжении технологического маршрута и полученный процент выхода годных изделий, который выступает в качестве независимой переменной. Предложенная модель используется для оценки процента выхода годных изделий до окончания технологического маршрута.

The problem of modeling of processes in electronic industry is discussed. The simple practical technique of the cluster and regression analysis is carried out for decision of the problem. An example of the technique based on data from enterprise of the Tomsk semiconductor industry is resulted. The data show results of the intermediate control of integrated circuits throughout a technological path and the received percent of the suitable integral circuit which represents itself the independent variable. The offered model is used for the estimation of percent of the suitable integral circuit before finish of the technological path.

Неотъемлемой частью совершенствования производства микросхем является уменьшение затрат на изготовление единицы продукции, которое можно достигнуть, используя систему управления качеством, способствующую повышению выхода годных изделий на третью [1]. Полупроводниковое производство отличается большой длиной

технологического маршрута. Каждая технологическая операция связана со сбором большого количества данных. Проблема больших данных требует совершенствования их статистической обработки. В задаче оценки процента выхода годных изделий рациональным является сокращение числа переменных с помощью методов кластеризации. Исследована работоспособность кластерного анализа методом k-средних для сокращения числа переменных [2]. Для определения количества кластеров строится дендрограмма (Рисунок 1) и находится пороговое расстояние. Зачастую оно известно или за него принимают скачок в данных, соответствующий оптимальному количеству кластеров.

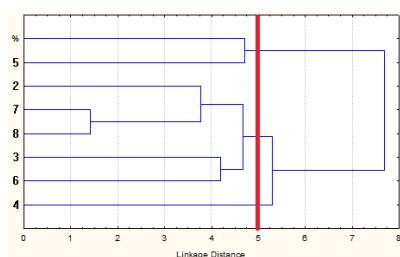


Рисунок 1 – Дендрограмма

После кластеризации требуется оценить расстояния между центром кластера, включающего процентом годных изделий, до остальных кластеров.

Все переменные, кроме тех, что попали в один кластер с процентом выхода годных, одинаково слабо влияют на его изменение.

Это можно показать зависимостями процента выхода годных от сильно и слабо влияющей переменной (Рис. 2, 3).

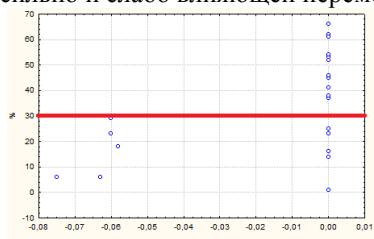


Рисунок 2 – Сильно влияющая переменная

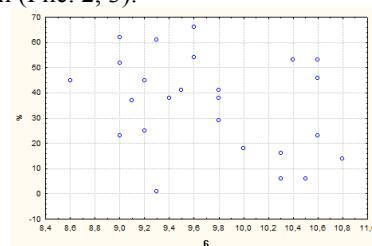


Рисунок 3 – Слабо влияющая переменная

При значениях переменной ниже -0,05 процент выхода годных изделий всегда имеет крайне низкое значение. При наличии такого значения с большой долей вероятности изделие будет не годным и оно бракуется до окончания технологического процесса.

#### Литература:

1. Аймагамбетова Р.Ж., Стукач О.В. Оценка качества процессов напыления слоев полупроводниковых материалов в производстве

электронных изделий с помощью кластеризации методом k-средних / Труды межд. науч.-практ. конф. "Современные методы оценки и оборудование в металловедении" - 30 октября 2015 г. – Карагандинский гос. техн. ун-т. – Караганда: Изд-во КарагТУ, 2015. – С. 50-51.

2. Ершов И.А., Стукач О.В. Использование корректного нормирования статистических данных в кластерном анализе // Современные технологии поддержки принятия решений в экономике: сб.тр. Всероссийской науч.-практ. конф. – Юрта, 19-20 ноября 2015 г. – ТПУ, Томск, 2015. – С. 32–34.

## **ЭКОНОМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДИСКРИМИНАЦИИ КУРЯЩИХ РАБОТНИКОВ**

**М.Д. Ким**

**Научный руководитель – к.э.н., профессор С.Д. Капелюк  
Сибирский университет потребительской кооперации,  
г. Новосибирск, ekzit96@mail.ru**

*Аннотация: Табакокурение – одна из самых распространённых привычек на сегодняшний день в России. Благодаря широкому ассортименту табачной продукции на прилавках магазинов данная продукция находит своего потребителя. Многие учёные за последние десятилетия изучали детерминанты табакокурения и последствия от этой вредной привычки, но к сожалению, этих данных недостаточно для того, чтобы оценить масштаб данной проблемы. В нашем исследовании мы сфокусируем внимание на проблеме дискриминации курильщиков в заработной плате, также оценим издержки неполученной заработной платы из-за наличия вредной привычки.*

*Smoking is one of the most prevalent bad habits in Russia. The variety of tobacco products in retail allows it to find its customers. Many researchers have investigated the determinants of smoking and the consequences of this bad habit, but the lack of data does not allow to assess the extent of this problem. This study is focused on the problem of discrimination of smokers in wage and also calculates the wage losses due to this habit.*

Данная работа посвящена дискриминации курящих работников их работодателями. Дискриминация проявляется в виде снижения рабочим заработной платы. На основе данных мониторинга RLMS-HSE мы выявили закономерность в различии заработной платы после трудоустройства на работу. В первый месяц разница в заработной плате у курящего респондента по сравнению с некурящими составляет 20%. Через год после трудоустройства разница составляет 9%, через два года 8% после трудоустройства и через три года разница составляет всего лишь 3%.

**Целью** нашей работы является изучение дискриминации курильщиков, а также определение разницы в заработной плате между курящими респондентами и некурящими респондентами.

Для анализа мы будем использовать данные мониторинга RLMS-HSE. RLMS-HSE - ежегодный Российский мониторинг экономического положения и здоровья населения НИУ ВШЭ за 1994-2015 годы. Для достижения поставленной цели мы будем использовать эконометрические методы.

Подводя итоги, важно отметить, что снижение числа курильщиков — это долгосрочная перспектива. Разница в заработной плате курящих и некурящих работников не столь велика, чтобы избавиться от вредной привычки. Однако государство активно принимает меры для уменьшения числа курильщиков. Одна из мер, предпринимаемая государством для сокращения числа курильщиков, — это повышение цен на табачную продукцию. Эта мера государственного регулирования вынуждает курильщиков приобретать более дешёвую и менее качественную продукцию, что может повлиять на более резкое ухудшение здоровья.

Литература:

1. Демьянова А.А. Факторы и типы потребления алкоголя и табака в России // Экономическая социология. Электронный журнал. 2005. Т. 6. № 1. Web site: [www.ecsoc.msses.ru](http://www.ecsoc.msses.ru).
2. Ермаков, С. А. Оценка макроэкономических последствий влияния курения на производительность в России : препринт WP15/2011/01 [Текст] / С. А. Ермаков ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2011. – 60 с.
3. Арженовский С. (2006). Социально-экономические детерминанты курения в России.
4. Локшин М., Саджая З. (2007). «Экономические издержки курения в России». Beyond transition, №13.
5. Global Wage Report 2014/15: Wages and income inequality. – International Labour Office – Geneva: ILO, 2015

# **АНАЛИЗ ФИНАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ**

**М.О. Кинева**

**Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент О.Л. Крицкий  
Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет, г. Томск, mariakineva@mail.ru**

*Финансовая устойчивость организации характеризует стабильность финансового положения организации, которая обеспечивается высокой долей собственного капитала в общей сумме используемых ею финансовых средств и формируется в процессе всей производственно-хозяйственной деятельности организации. Она во многом зависит от наличия у организации собственных ресурсов и прежде всего, прибыли. Целью настоящей работы является проведение анализа финансовой устойчивости предприятий и выборка наиболее адекватного метода, применимого для данной отрасли производства. В процессе исследования проводились экономико-математические методы – коэффициентный анализ, дискриминантный анализ – модели Альтмана, Лиса, Спрингейта, Чессера, Сайфуллина-Кадыкова, Таффлера. В результате исследования проведен анализ финансовой устойчивости 9 наиболее крупных российских компаний энергетической отрасли, на основе использования данных бухгалтерских балансов с 2008 г. по 2016 г., а также проведена комплексная оценка вероятности банкротства с помощью 6 моделей. Данна интерпретация полученных результатов и сделаны соответствующие выводы.*

*Financial stability of the organization characterizes the stability of the organization's financial position, which is provided by a high share of equity in the total amount of funds used by it and formed in the course of the entire production and business activities. It largely depends on whether the company's own resources and profit. The larger share of profits is directed to the development of production, the more stable position of the organization, as well as the more money the organization can attract, the higher its financial capacity. The purpose of this paper is to analyze the financial stability of companies and selection of the most appropriate method applicable for this branch of industry. The study carried out economic and mathematical methods - coefficient analysis, discriminant analysis - Altman model, Fox, Springeyt, Chesser, Saifullin-Kadykov, Taffler. The study analyzed the financial stability of the 9 largest Russian energy sector companies, based on the use of balance sheet data from 2008 to 2016, and conducted a comprehensive assessment of the probability of bankruptcy with 6 models. Interpret the results and draw conclusions.*

Для анализа энергетической отрасли России в целом были выбраны крупнейшие предприятия, занимающие 80% исследуемой отрасли по капитализации. Были проанализированы показатели финансовой устойчивости данных предприятий и выявлено, что в среднем показатели всех выбранных для анализа предприятий соответствуют

нормам устойчивости. Исходя из того факта, что все рассмотренные предприятия финансово устойчивы за период с 2008 по 2016 год, предлагается проверить эффективность известных моделей оценки финансовой устойчивости предприятий. Основываясь на результатах, полученных при использовании 6 различных методов, был выбран один наилучший метод, результат которого в большинстве случаев говорил о хорошем финансовом положении предприятий и предполагал низкую вероятность банкротства. Ниже представлена сравнительная таблица результатов по каждому методу с указанием точности оценки в процентном соотношении (Таблица 2).

Таблица 1 - Сравнение полученных результатов

	Модель Альтмана	Модель Лиса	Модель Таффлера	Пятифакторная модель Кадыкова и Сайфулина	Модель прогнозирования банкротства предприятий Спрингейта	Модель Чессера
<b>2008-2010</b>	0%	75%	99%	56%	39%	<b>100%</b>
<b>2011-2013</b>	0%	66%	98%	38%	38%	
<b>2014-2016</b>	1%	80%	92%	36%	26%	
<b>Итого</b>	<b>0%</b>	<b>72%</b>	<b>96%</b>	<b>42%</b>	<b>35%</b>	

Наилучшей моделью из рассматриваемых была выбрана модель Чессера. Данная модель содержит дискриминантную функцию и барьер для вероятности банкротства, который можно использовать для оценки более мелких энергетических предприятий.

#### Литература:

1. Анализ финансовой отчетности: Учебник. – 2-е изд. / Под общ.ред. М.А.Вахрушиной. – М.:Вузовский учебник: ИНФРА—М, 2011. 431с.
2. Передеряев И.И. Учет и анализ банкротств: учебное пособие, 2-е изд., стереотип. – М.: МГИУ, 2008. – 208 с.
3. Балдин К.В. Математические методы и модели в экономике: учебник / К.В. Балдин, В.Н. Башлыков, А.В. Рукосуев; под общей редакцией К.В. Балдина. – М.: ФЛИНТА: НОУ ВПО «МПСИ», 2012. – 328 с.

# АНАЛИЗ РЫНОЧНЫХ ЦЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ SAMSUNG GROUP

А.С. Клокова

Научный руководитель – к.э.н., доцент Л.К. Серга  
Новосибирский государственный университет экономики и  
управления «НИНХ», г. Новосибирск, a.s.klokova@nsuem.ru

*Рыночные цели устанавливают желаемое компанией положение в перспективе. Поэтому для того чтобы быстрее и с меньшими затратами достичь успеха, компании очень важно правильно сформулировать эти цели.*

*Market goals set the desired position of company in the long term. Therefore, in order to more quickly and with lower cost, for the company is very important to formulate these objectives properly.*

Каждому руководителю компании хочется видеть свое предприятие процветающим и стабильным. Для того чтобы так и было очень важно чтобы бизнесмены и менеджеры четко могли сформулировать основные цели своего предприятия. Ведущими в реальной практике рыночной деятельности организации являются рыночные цели: только через их достижение можно прийти к желаемым финансовым результатам.

Условия к постановке рыночных целей такие же, как и условия к постановке целей компании в принципе - они должны быть:

1. конкретными -Specific;
2. достижимыми -Measurable;
3. согласованными (между собой) - Agreeable, Accordant;
4. измеримыми - Realistic;
5. увязанными во времени - Timebounded.

Рыночные цели также называют внешними программными целями, к ним можно отнести, например:

1. Увеличение числа клиентов;
2. Повышение доли фирмы в рамках своего сегмента рынка;
3. Проникновение в другие сегменты потребительского рынка;
4. Поиск новых рыночных ниш;
5. Увеличение объема продаж.

Samsung Group является крупнейшим конгломератом в мире бизнеса. Общий объем продаж концерна в 2014 году составил \$ 305 млрд., что почти в 2 раза больше по сравнению с 2010 годом.

Деятельность компании разделена на несколько подразделений, самое большое из которых – Samsung Electronics, известный во всем мире производитель бытовой техники, мобильных телефонов, планшетов, плееров, телевизоров, комплектующих для ПК и т.д.

Компания Samsung Electronics занимает 19 позицию в рейтинге крупнейших компаний мира. Объем продаж в 2014 году составил \$177,3 млрд – это 58% от объема продаж всего концерна.

Samsung Life Insurance – самая крупная страховая консалтинговая компания в Южной Корее по объему активов. Данная компания обслуживает более 10 млн. клиентов. По данным журнала Forbes Global 2000 на 2015 год компания занимает 26 место среди страховых компаний всего мира. Финансовый рынок конгломерата помимо Samsung Life Insurance включает в себя еще пять компаний. Финансовое подразделение приносит концерну около \$42 млрд. в год.

Самая крупная компания концерна, занятая в химической промышленности Samsung Total Petrochemicals, данная компания является совместным предприятием Samsung Group и французской компанией Total Group, работающей в области энергетики и химии. Отрасль химической промышленности приносит около \$5 млрд. в год.

Чем только не занимается компания Samsung в ее широком представлении, она даже является вторым по величине в мире кораблестроительным предприятием. Сегодня, трудно представить какие еще рыночные ниши можно найти компаний. Samsung внедряет инновации, начиная от решений для мобильной печати, заканчивая судостроительными разработками.

Деятельность компании представлена тем или иным образом в каждой стране мира, кажется, такими темпами, Samsung в скором будущем ждет мировое господство.

#### Литература:

1. Глинский В.В., Ионин В.Г. Статистический анализ: учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ИИД «Филинъ», 1998.
2. Официальный сайт компании Samsung [Электронный ресурс] URL: <http://www.samsung.com/ru/home/>

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АЛКОГОЛИЗАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ю.А. Конощенко

Научный руководитель – к.э.н., доцент Л.П. Ярославцева  
Новосибирский государственный университет экономики и  
управления «НИХУ», г. Новосибирск, yuliya\_vragova@mail.ru

В данной статье рассматривается такая болезнь общества как алкоголизм. С помощью статистического анализа проведены исследования, показывающие изменения данного явления во времени. Особое внимание уделено

*группировке субъектов РФ по уровню заболеваемости алкоголизмом и алкогольными психозами.*

*This article examines this social disease as alcoholism. Study of this phenomenon and its dynamics of changes were performed using statistical analysis. Grouping of Russian regions by the level of alcoholism and alcoholic psychosis incidence occupies a special place in the article.*

Алкоголизм в России является глобальной проблемой. В настоящее время подавляющее большинство взрослых людей знает вкус алкоголя, то есть испытывало более или менее выраженное состояние опьянения. Алкоголизм опасен, потому что алкогольное опьянение снижает контроль над своим поведением. При длительном приеме алкоголя происходит деградация личности, частично утрачиваются высшие ценности, потребности становятся примитивными, распадаются семьи, люди теряют работу. Поэтому данная проблема актуальна на сегодняшний день.

Статистический анализ структуры и динамики алкоголизации населения Российской Федерации показал, что в последнее десятилетие происходит снижение данного заболевания. Так, число людей больных алкоголизмом и алкогольными психозами за период с 2000–2014 гг. имеет тенденцию к уменьшению. Пик роста данного показателя был зафиксирован более 10 лет назад – в 2002 г.

С помощью корреляционного анализа было выявлено, что увеличение цены на водку, рост среднедушевых денежных доходов населения и среднемесячной заработной платы ведет к уменьшению числа больных людей алкоголизмом и алкогольными психозами. А при увеличении числа людей больных наркоманией, увеличивается и число людей больных алкоголизмом и алкогольными психозами.

Уровень заболеваемости алкоголизмом в разных субъектах России различен. Типологическая группировка субъектов РФ по уровню заболеваемости алкоголизмом и алкогольными психозами за 2000 и 2014 гг. показала, что большее количество субъектов РФ относятся к низкому уровню заболеваемости алкоголизмом и алкогольными. К низкому уровню заболеваемости в 2000 г. относятся 65 субъектов РФ, в 2014 г. на один субъект больше (66 субъектов). Количество субъектов со средним уровнем заболеваемости алкоголизмом и алкогольными психозами не изменилось за данный промежуток лет. К высокому уровню заболеваемости алкоголизмом в 2014 г. отнесены 3 субъекта (Нижегородская область, г. Москва, Московская область), в 2000 г. – 4 субъекта (Краснодарский край, Нижегородская область, г. Москва, Московская область).

Важным аспектом статистического исследования является составление прогноза динамики социально-экономического явления в будущем. Прогноз до 2018 г., выполненный с помощью аналитического выравнивания показал, что уровень заболеваемости алкоголизмом будет и дальше снижаться (в период с 2000 по 2018 гг. число больных должно уменьшиться на 44%), что позволит несколько ослабить негативное влияние алкоголя на здоровье общества.

Литература:

1. Глинский В.В., Ионин В.Г. Статистический анализ: учебное пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : ИНФРА-М; Новосибирск, 2002.- 241 с.

## О ВЫБОРЕ ИНТЕРНЕТ-ПЛОЩАДКИ ДЛЯ ПОИСКА И РАЗМЕЩЕНИЯ РЕКЛАМНОЙ ИНФОРМАЦИИ

О.П. Кравченко

Научный руководитель – д.т.н., доцент В.С. Тимофеев  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, olyalyaka1994@gmail.com

*Рассматривается проблема поиска интернет-площадки. Выбор проводился между 17 интернет-площадками по 9 критериям. Ранжирование осуществлялось на основе метода анализа иерархий. В качестве исходных данных могут быть использованы экспертные мнения либо статистика посещаемости сайтов. Результатом данной работы являются алгоритмы выбора интернет-площадок, реализованные на языке Visual C#.*

*This article addresses the issue of choosing the online marketplace. The selection was carried out between 17 sites on 9 criteria. The ranking was based on the analytic hierarchy process. Expert opinions and site traffic statistics can be used as input data. The online marketplace selection algorithms are implemented in Visual C # as the result of this work.*

Наличие интернета помогает людям в повседневной жизни. Больше нет необходимости ходить по магазинам, исследуя полки, в поисках нужного товара; бродить по улицам, осматривая каждую доску объявлений, чтобы найти дом на продажу; всё это теперь можно сделать сидя дома за компьютером, лишь выбрав интернет-площадку и просмотрев объявления на интересующую тему. В такой момент у потребителя появляется вопрос, какую интернет-площадку выбрать, чтобы найти необходимую информацию быстро. Подобный вопрос также может возникнуть и в случае, если необходимо разместить

какую-либо рекламную информацию. Именно для этого необходимо ранжирование интернет-площадок по определенным критериям, соответствующим причине поиска сайта.

Цель данной работы заключается в разработке алгоритмов выбора интернет-площадки для поиска или размещения информации.

Каждый сайт стремится повысить количество посещений. Существует несколько способов узнать статистику сайта: счётчик посещений, сервис многопланового рейтинга.

Для данной работы были выбраны 17 интернет-площадок, предоставляющих свои услуги по городу Новосибирску и по России. Оценка интернет-площадки проводится на основе определённых критериев: место в мире, по России и категории, поведенческие критерии, количество объявлений по Новосибирску и России в различных категориях. По каждому из данных критериев автором была собрана статистика посещаемости за период с 19.12.2015 по 5.05.2016. Были составлены деревья критериев для поиска и размещения информации. Для определения значимости критериев использовался метод экспертных оценок, также был разработан алгоритм оценивания значимости критериев.

Для ранжирования интернет-площадок выбран метод анализа иерархий, разработанный Томасом Л. Саати, для его реализации также использовался разработанный им метод оценивания. Метод анализа иерархий заключается в определении приоритетов, представляющих относительную важность или предпочтительность элементов иерархической структуры, построенной ранее, путём парных сравнений, используя фундаментальную шкалу Саати; и синтезе приоритетов на иерархии, в результате которого производятся вычисления приоритетов альтернативных решений относительно главной цели. Лучшей альтернативой будет считаться альтернатива с максимальным значением приоритета. В данном методе используется главный собственный вектор, таким образом возникла необходимость решения частичной проблемы собственных чисел, для чего был выбран степенной метод.

Для достижения цели, поставленной в данной работе были разработаны два алгоритма: алгоритм ранжирования интернет-площадок по критериям одного уровня и алгоритм ранжирования по дереву критериев. Также были реализованы два метода оценивания значимости критериев: метод, использующий матрицу парных сравнений критериев, составленную экспертом; и метод, использующий алгоритм построения матрицы парных сравнений, учитывая количество источников статистики, предоставляющих информацию по выбранным

критериям. Данные алгоритмы были реализованы в разработанном программном обеспечении на языке C#.

Проведённая работа, а также разработанное программное обеспечение пригодились бы людям, желающим быстро выбрать наиболее эффективные интернет-площадки.

Литература:

1. Об измерении неосозаемого. Подход к относительным измерениям на основе главного собственного вектора матрицы парных сравнений / Т.Л. Саати // Cloud of Science. – 2015. – Т. 2. № 1. – С. 1-39.
2. Технологии принятия решений: метод анализа иерархий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://citforum.ru/consulting/BI/resolution/>.
3. Численные методы решения задач на собственные значения и собственные векторы матриц [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.uchites.ru/files/nummethod\\_book\\_chapter1-2.pdf](http://www.uchites.ru/files/nummethod_book_chapter1-2.pdf).

## **ПОСТРОЕНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ СТРУКТУРНОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ**

**Л.А. Ландман**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент А.В. Фаддеенков  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, liliya\_landman@mail.ru**

*В данной работе рассматривается принцип работы разработанного алгоритма для определения наличия структурной нестабильности при неизвестных точках структурных изменений. Этот алгоритм лежит в основе работы программной системы «Structural break estimator» (SBE).*

*In this paper we consider the principle of the developed structural instability detection algorithm for unknown points of structural changes. This algorithm is the basis of the "Structural break estimator" (SBE) software system.*

Основная цель анализа структурных изменений во временных рядах заключается в обосновании выбора между единой моделью, построенной на всем рассматриваемом промежутке времени, и кусочной моделью, составленной из двух отдельных моделей, построенных на промежутках времени до  $t^*$  и после. Для статистического обоснования этого выбора используются критерии Чоу, Гуджарати, Пуарье. Однако эти методы позволяют проверять только заданные точки на наличие в них структурных изменений, поэтому был

разработан следующий алгоритм, состоящий из двух последовательных этапов.

*Этап 1. Нахождение точек структурных изменений:*

1. Начало работы алгоритма: пустой список точек структурных изменений  $arrPoints$ , пустые списки  $arrBegin$  и  $arrEnd$  для записи начала и конца отрезков кусочной модели, начальная и конечная точки рассматриваемого временного ряда  $t_0$  и  $t_n$ ,  $begin$ ,  $end$ , уровень значимости  $\alpha$ ,  $m$  - количество отрезков, на которое разделен временной ряд.

В список  $arrBegin$  заносится начальная точка отрезка  $t_0$ , а в  $arrEnd$  конечная  $t_n$ ,  $i = 0$ ,  $m = 0$ .

2. Подсчитывается количество точек на отрезке  $[arrBegin^i; arrEnd^i]$ :
  - если оно меньше 20, то переходим к пункту 4.
  - если нет – переходим к пункту 5.
3. Отбрасываются первые и последние 10 точек. Устанавливаем  $begin = arrBegin^i$ ,  $end = arrEnd^i$ . Среди оставшихся точек находится такая точка  $p$ , для которой значение статистики критерия  $F_p^i$  является максимальным на отрезке  $[arrBegin^i; arrEnd^i]$ . Это значение сравнивается с критическим значением статистики Фишера с заданным уровнем значимости  $\alpha$ :
  - если найденное значение  $F_p^i > F_{kp}$ , то в список  $arrBegin$  вносятся значения  $begin$  и  $p-1$ , а в список  $arrEnd$   $p-1$  и  $end$ , а в список  $arrPoints$  вносится  $p$ . Устанавливаем  $i = i + 1$ ,  $m = m + 2$  и переходим к пункту 3.
  - если  $F_p^i \leq F_{kp}$ , то устанавливаем  $i = i + 1$  и переходим к пункту 3.
4. Если  $i < m$ , то  $i = i + 1$  и переходим к пункту 4. Если нет – алгоритм заканчивает свою работу.

*Этап 2. Построение моделей со структурными изменениями:*

- Начало работы алгоритма: список точек структурных изменений  $arrPoints$ , тип предполагаемой модели  $T(t)$ ,  $m$  - количество точек в списке  $arrPoints$ ,  $i = 0$ .
- Если  $i = m$  – алгоритм заканчивает свою работу. Иначе выбираем точку  $arrPoints^i$  и на отрезке  $[0; arrPoints^i]$  строим модель в соответствии с выбранным типом  $T(t)$ .
- Увеличиваем  $i$ :  $i = i + 1$ .
  - если  $i = m$ , то переходим к пункту 5.
  - иначе переходим к пункту 4.
- Выбираем точку  $arrPoints^i$  и на отрезке  $[arrPoints^{i-1}; arrPoints^i]$  строим модель в соответствии с выбранным типом  $T(t)$ . После этого переходим к пункту 3.
- На отрезке  $[arrPoints^{i-1}; n]$  строим модель в соответствии с выбранным типом  $T(t)$ , алгоритм заканчивает свою работу.

Литература:

- Тимофеев В.С., Фаддеенков А.В., Щеколдин В.Ю. Эконометрика // Издательство НГТУ. – 2013, С.163-170.
- Пуарье Д. Эконометрия структурных изменений: с применением сплайн-функций - М. : Финансы и статистика, 1981. - 183 с.

## О ВЫБОРЕ КОНСТАНТЫ СГЛАЖИВАНИЯ ДЛЯ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНО ВЗВЕШЕННОЙ СКОЛЬЗЯЩЕЙ СРЕДНЕЙ

**А.А. Панарина**

**Научный руководитель – к.э.н. А.Ю. Тимофеева**  
**Новосибирский государственный технический университет,**  
**г. Новосибирск, panarina23@mail.ru**

*В статье рассматриваются методы усреднения временных рядов. В результате работы разработан подход для определения оптимального параметра сглаживания.*

*This article examines methods of averaging the time series. As a result, it was developed an approach to determine the optimal smoothing parameter.*

Сглаживание временного ряда является одним из распространенных приемов выявления тенденции развития. Суть этих приемов сводится к замене фактических значений временного ряда расчетными, которые в меньшей степени подвержены колебаниям. Иногда сглаживание применяют как предварительный этап перед использованием других методов выделения тенденции. Основная цель сглаживания – минимизировать отклонения сглаженных значений от наблюдаемых.

В качестве одного из методов усреднения временного ряда используют экспоненциально взвешенную скользящую среднюю, которая придает больший вес последним значениям временного ряда. Данный метод позволяет построить более приближенную к исходному графику линию и позволяет точнее и быстрее получать сигналы для входа и выхода из тренда, чем к примеру, простое скользящее среднее.

Вычисление прогнозного значения с использованием экспоненциально взвешенной скользящей средней можно провести с использованием следующего уравнения:

$$\hat{Y}_t = \hat{Y}_{t-1} + \alpha(Y_t - \hat{Y}_{t-1}),$$

где  $\hat{Y}_t$  — прогноз для периода  $t$ ;  
 $\alpha$  — сглаживающая константа;  
 $Y_t$  — фактические продажи в период  $t$ .

Константа сглаживания  $\alpha$  представляет собой процент от ошибки прогноза. Каждый новый прогноз равен предыдущему прогнозу плюс процент от предыдущей ошибки. Константа  $\alpha$  может принимать любые значения от 0 до 1 [1]. Рекомендуется выбирать константу сглаживания таким образом, чтобы с одной стороны, прогноз оставался достаточно чувствительным к реальным изменениям данных временного ряда, а с другой — хорошо сглаживал скачки, вызванные случайными факторами.

На практике всегда возникает вопрос, какое значение параметра сглаживания выбрать. В статье [2] предлагается рассчитывать коэффициент  $\alpha$  по формуле:

$$\alpha = \frac{2}{n+1},$$

где  $n$  — количество значений исходной функции.

Задача поиска оптимального  $\alpha$  сводится к двум критериям: с одной стороны необходимо минимизировать дисперсию отклонений данных от сглаженной кривой, которая будет постоянно уменьшаться с ростом  $\alpha$ , с другой стороны нельзя допускать сильной вариации сглаженного ряда, которая возникает при стремлении  $\alpha$  к единице. Чтобы избежать

этого, следует свести меру отклонений прогнозных значений к минимуму.

Если объединить два критерия в одну целевую функцию и найти минимум этой функции, можно как раз и рассчитать оптимальный параметр сглаживания. Целевая функция имеет вид:

$$F = w_1 f_1 + w_2 f_2,$$

где  $f_1$ - дисперсия сглаженных значений;

$f_2$ - дисперсия остатков

$w_1$  и  $w_2$ - весовые коэффициенты,  $w_1, w_2 > 0, w_1 + w_2 = 1$

Предложенный подход был апробирован на реальных данных. Результаты доказали применимость данного подхода к определению оптимального параметра сглаживания.

Литература:

1. Rasmussen R. On time series data and optimal parameters //Omega. – 2004. – Т. 32. – №. 2. – С. 111-120.
2. Концевая Н. В. Оптимизация процедур сглаживания показателей финансовых рынков //Аудит и финансовый анализ. – 2011. – №. 1. – С. 122-127.

## ОЦЕНКА ДОБЫЧИ ТИТАНОВОГО СЫРЬЯ

**Н.Ш. Садыкова**

**Научный руководитель – к.э.н., доцент Л.К. Серга**

**Новосибирский государственный университет экономики и управления «НИНХ», г. Новосибирск, NailiaSadykova@yandex.ru**

*Титан применяют в многих крупномасштабных областях и в текущем столетии прогнозируется значительное повышение спроса на него, в связи с чем анализ возможностей титановых руд представляется особенно актуальным.*

*Titan has many different large application area and experts forecast considerable increase demand for it. That's why the analysis of titanic ore seems particularly topical subject.*

Титан и его соединения пластичны, обладают механической прочностью и коррозийной стойкостью, что объясняет его использование в производстве деталей и проката для аэрокосмической промышленности, химического и энергетического машиностроения,

военной техники, судостроения и других продуктов. Но, не смотря на то, что титан широко распространен в природе и входит в состав многочисленных минералов, титановые минералы редко образуют большие скопления и не всегда пригодны для промышленного извлечения титана. Из чего возникает потребность анализа производственных возможностей титановых руд в целом, а так же по странам для оценки их влияния в данной отрасли.

Основная доля титана (80 %) производится из рутиловых и ильменитовых концентратов. При этом, если проследить мировую тенденцию добычи титановых руд ильменита добывается в 8-12 раз больше чем рутила. Так в 2015 году добыто 5610 тыс.т. ильменита и 480 тыс.т. рутила. Добыча ильменита представлена на рисунке 1.

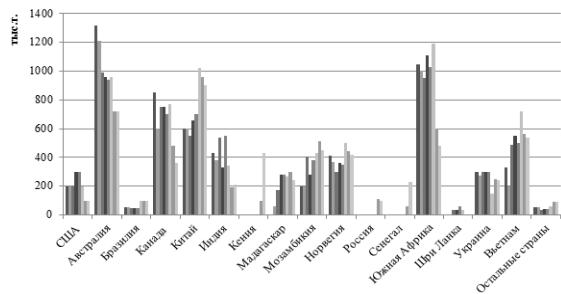


Рисунок 1 – Добыча ильменитовых руд в странах в 2008-2015 гг.

С 2008 по 2015 гг. больше всего добыто ильменита в Австралии, Южной Африке, Канаде, Китае. Стоит отметить, что среди лидирующих стран Китай наращивает темпы разработки ильменита, в то время как остальные страны значительно их сокращают. Так в Китае добыча минерала с 2008 г. возросла с 600 тыс.т. до 900 тыс.т. в 2015 году. В Австралии сократилась с 1320 тыс.т. до 720 тыс.т., в Южной Африке с 1050 тыс.т. до 480 тыс.т., в Канаде с 850 тыс.т. до 360 тыс.т. При этом страны с меньшей долей на рынке также наращивают темпы добычи минерала.

В связи с тенденцией наглядно продемонстрированной на рисунке 1 выяснено положение на рынке в 2015 г., занимаемое каждой из стран.

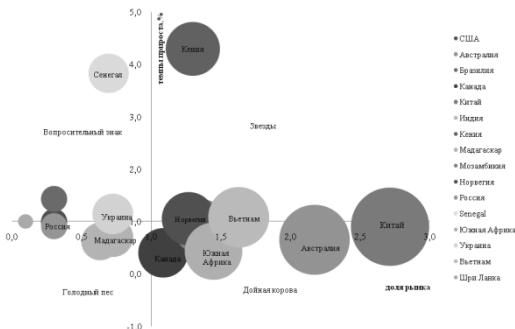


Рисунок 2 – Матрица портфельного анализа стран, добывающих  
ильменит

Большую долю отрасли занимают Китай, Австралия, Вьетнам и Южная Африка, Норвегия, данные страны можно назвать наиболее стабильными. В то время как Канада постепенно переходит в сектор «голодного пса», что свидетельствует об ухудшение ее положения. Кения и Сенегал недавно начали разработку своих руд и темпы их развития высоки, на данный момент нет возможности для точной характеристики Сенегала, но Кения вырываеться в «звезды». Остальные страны, в том числе Россия, расположены на пересечении «голодных псов» и «вопроса», то есть они находятся в некотором «подвешенном состоянии», их темпы роста низки и доля на рынке не высока, что свидетельствует об их слабом влиянии в отрасли. А соответственно у данных стран меньшие возможности по производству титана, который имеет перспективу стать основным металлом грядущих лет.

## Литература:

1. Глинский В.В., Ионин В.Г. Статистический анализ: учеб.пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ИИД «Филинъ», 1998.
  2. Зубков Л.Б. Все о титане. – М.: Наука, 1987. – 128 с.
  3. USGS [Электронный документ] URL: <https://www.usgs.gov/>

# **СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕЖРЕГИОНАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Д.А. Самусь**

**Научный руководитель – старший преподаватель Е.В. Макаридина**  
**Новосибирский государственный университет экономики и**  
**управления «НИХ», г. Новосибирск,**  
**dmitriy.sam-us.molodost@mail.ru**

*В исследовании рассматривается межрегиональная миграция населения на примере Новосибирской области. Проведена статистическая оценка этого процесса. Мы разработали методику отслеживания привлекательности районов для мигрантов с помощью кластерного анализа.*

*The research focuses on interregional migration by the example of Novosibirsk region. Statistical evaluation of this process is conducted. We developed the technique of tracking the attractiveness of regions for migrants with the help of cluster analysis.*

В Российской Федерации межрегиональная миграция всегда являлась сильнейшим фактором формирования демографического рисунка территории на всех уровнях: села, города, области, страны в целом. Знание направления, структуры и факторов внутренней миграции является залогом успешной разработки и внедрения различных управленческих решений и программ территориального социально-экономического развития.

Объект исследования: население Новосибирской области

Предмет исследования: межрегиональная миграция населения Новосибирской области

Проведен анализ объема, структуры, динамики межрегиональной миграции населения с 2002 по 2014 годы, её доли в общей миграции населения; определена степень изменения структуры межрегиональной миграции; проведен кластерный анализ межрегиональной миграции Новосибирской области с 2012 по 2014 год, оценены изменения в составе кластеров за эти годы.

Проведенный статистический анализ позволяет сделать выводы о объеме, направлениях и интенсивности межрегиональных миграционных перемещений населения Новосибирской области, структурных сдвигах, взаимосвязях с иными социально-демографическими показателями. Методика кластерного анализа дает возможность выделить наиболее привлекательные районы области с точки зрения мигрантов.

Подобную статистическую оценку внутренней миграции можно применять с целью совершенствования процесса управления. Она позволит увидеть изменение основных показателей миграции в динамике. Кластерный анализ территории по внутренней миграции и связанным с ней процессам дает возможность проследить изменение привлекательности районов для мигрантов, повлиять на находящиеся в кластерах, которые население покидает. А обнаруженная связь межрегиональной миграции с количеством выявленных лиц, проживающих без паспорта и с количеством выданных иностранным гражданами и лицам без гражданства патентов позволяет с помощью кластерного анализа определить районы, обладающие наименьшей привлекательностью для лиц других государств, что дает возможность принимать меры по улучшению этого показателя относительно конкретных территорий и отслеживать эффективность принятых мер путем оценки изменения состава кластеров.

Литература:

1. Рыбаковский Л.Л. Региональный анализ миграций: монография. - М.: Статистика, 1973. - 159 с
2. Макаридина Е.А., Макаридина Е.В. Учет и анализ внутренней миграции населения Новосибирской области: проблемы и пути совершенствования: сб. науч. тр. – Новосибирск: Изд-во НГУЭУ, 2015. - С. 565-570.
3. Статистический анализ: учебное пособие / В.В. Глинский, В.Г. Ионин. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: ИНФРА-М, 2002. - 239 с..

## **ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ДИНАМИЧЕСКОЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ МОДЕЛИ С ВКЛЮЧЕНИЕМ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА**

**Ю.М. Слепенкова**

**Научный руководитель – д.э.н., профессор А.О. Баранов  
Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, г. Новосибирск,  
[juliaslepenkova@ya.ru](mailto:juliaslepenkova@ya.ru)**

В работе представлена часть математического описания блока человеческого капитала в динамической межотраслевой модели (ДММ). Полученная модель позволит более эффективно анализировать экономическую ситуацию экономики России и строить прогнозы ее развития.

*The article presents a part of a mathematical description of the human capital block for the dynamic input-output model from the KAMIN system (the System of*

*Integrated Analyses of Interindustrial Information). The extended model can be useful for analysis and forecast of Russian economy development.*

Включение в ДММ блока человеческого капитала позволит учесть влияние качественной дифференциации трудовых ресурсов, в том числе и по таким важным признакам, как уровень образования, потенциал здоровья человека, культурные особенности. Разработка расширенной модели ведется на основе ДММ из системы КАМИН (система комплексного анализа межотраслевой информации). Математическое описание базовой модели представлено в работе [1]. Приведем важные уравнения блока человеческого капитала для расширенной модели.

Рекуррентные соотношения, описывающие динамику «несформированного окончательно» человеческого капитала  $i$ -го вида в отрасли  $j$ , находящегося на обучении/лечении и т.п. на конец года  $t$  ( $NH_{ij}(t)$ ):

$$NH_{ij}(t) = NH_{ij}(t-1) - \sum_{\tau=1}^{\tilde{\theta}_{ij}-1} \tilde{\eta}_{ij}(\tau) \cdot H_{ij}(t-\tau) + \\ + \sum_{\tau=1}^{\tilde{\theta}_{ij}-1} \tilde{\mu}_{ij}(\tau) \cdot BH_{ij}(t+\tau),$$

где  $H_{ij}(t-\tau)$  – объем инвестиций в человеческий капитал вида  $i$ , вложенных в  $j$ -й отрасли в году  $t - \tau$ ;

$\tilde{\theta}_{ij}$  – лаг формирования  $i$ -го вида человеческого капитала в  $j$ -й отрасли;

$\tilde{\eta}_{ij}(\tau)$  – доля инвестиций в человеческий капитал прошлых лет ( $t - \tau$ ) вида  $i$  в  $j$ -й отрасли, которая обеспечивает ввод в действие человеческого капитала того же вида в отрасли  $j$  в году  $t$ .

$BH_{ij}(t)$  – выпуск студентов и школьников (уровень образования  $i$ ), после завершения обучения поступивших на работу в год  $t$  и дополнивших новый человеческий капитал вида  $i$  в  $j$ -й отрасли;

$\tilde{\mu}_{ij}(\tau)$  – коэффициент, показывающий, какая доля выпуска человеческого капитала в  $j$ -й отрасли в период времени  $t + \tau$  формируется за счет инвестиций  $i$ -го вида периода  $t$ .

Объем человеческого капитала  $i$ -го вида в  $j$ -й отрасли  $HC_{ij}(t)$  на конец периода  $t$  будет равен:

$$HC_{ij}(t) = BH_{ij}(t) + HC_{ij}(t-1) \cdot (1 - \tilde{k}_{ij}(t)),$$

где  $\tilde{k}_{ij}(t)$  – коэффициент выбытия человеческого капитала  $i$ -го вида в  $j$ -й отрасли в году  $t$ .

К ограничениям базовой модели также добавляется ограничение по человеческому капиталу вида:

$$\sum_{j=1}^n h_{ij}(t) \cdot x_j(t) \leq HC_i(t),$$

где  $h_{ij}(t)$  – фондоемкость по человеческому капиталу вида  $i$  (в соответствии с видом инвестиций, лежащих в его основе) валового выпуска по отрасли  $j$ ;

$x_j(t)$  – произведенный валовый выпуск отрасли  $j$  в период  $t$ ;

$n$  – число отраслей экономики.

С учетом всех ограничений в модели решается задача нахождения траектории экономического развития системы.

Литература:

1. Озеров В.К., Павлов В.Н., Баранов А.О. Динамическая межотраслевая модель с учетом длительности периода воспроизводства основных фондов // Экономика и математические методы. - 1987. - Т. XXIII, вып. 1. - С. 87-94.

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАЯТНИКОВОЙ МИГРАЦИИ В ЮЖНО-КУЗБАССКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

**К.М. Смачёв**

Научный руководитель – к.т.н., доцент Т.В. Бурнышева  
Новокузнецкий институт (филиал) ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г.Новокузнецк, sma4ev@gmal.com

Описан подход к имитационному моделированию процесса маятниковой миграции в Южно-Кузбасской агломерации с учетом структуры потока. Маятниковая миграция представлена как циклический процесс на протяжении недели, месяца, года.

*There is described an approach of imitation modeling of the commuting in South Kuzbass's agglomeration with taking in account the flow structure. Commuting is represented as cyclic process for week, month, and year.*

Имитационное моделирование является незаменимым методом, при изучении сложных социально-экономических систем. В качестве элементов таких систем выступают люди, это не позволяет применять к системам аналитические методы и единый математический аппарат.

Для изучения сложных процессов, происходящих в социально-экономических системах, используют имитационные модели, реализованные с помощью математических и программных средств [1]. Такая модель позволяет наблюдать за функционированием системы и её поведением. Это необходимо для определения эффективных стратегий принятия решений в сложных ситуациях с недостатком исходных данных и информации.

К сложным для изучения, моделирования и прогнозирования социально-экономическим системам относят такое современное явление как агломерация. Под агломерацией понимают компактное расположение, группировка поселений, объединенных не только в пространственном смысле, но обладающих развитыми производственными, культурными, рекреационными связями [2]. Существует много процессов, влияющих на агломерацию, например: социальные процессы; транспортные процессы (перемещение людей в агломерации); экономические процессы (циркуляция денежной массы); трудовые (миграционные) процессы. К наиболее распространенным процессам относят маятниковую миграцию. С точки зрения системного анализа «маятниковая миграция» это миграционный процесс, протекающий в социально-экономической системе «Агломерация», способствующий её образованию и развитию во времени.

На основе опроса жителей Кемеровской области в среде GPSS World [3] была реализована имитационная модель маятниковой миграции Южно-Кузбасской агломерации, с учетом выделенных четырёх направлений: Северное (г.Прокопьевск, г.Киселевск), Южное (г.Осинники, г.Калтан, г.Таштагол), Восточное (г.Междуреченск, г.Мыски, ст.Томусинская) Северо-Восточное (Ерунаково, Карлык, Томусинская).

Для определения времени наполнения и освобождения ядра, было выделено пять категорий жителей с учетом их занятости, составляющих структуру каждого потока маятниковой миграции внутри агломерации: «рабочие»; «учащиеся»; «пенсионеры»; «домохозяйки»; «неработающие».

Анализ статистических данных позволил определить вид функций плотности нормального распределения времени прибытия в ядро агломерации и времени отъезда из ядра жителей малых городов и поселков с учетом их вида деятельности.

В качестве элемента моделирования процесса мятниковой миграции был описан, построен и реализован процесс мятниковой миграции для буднего и выходного дня. На основы данных элементов построены циклические процессы мятниковой миграции в течение недели, месяца и года.

Результатом моделирования является набор данных о динамике мигрирующих людей в ядро агломерации в течение недели, а также графическое представление данного процесса.

Литература:

1. Бронов С. А. Имитационное моделирование: учеб. пособие / С. А. Бронов; ФГОУ ВПО "Сибирский федеральный университет", кафедра «Системы автоматизированного проектирования». — Красноярск: СФУ, 2007.— 82 с.
2. Муллагалеева З.З. Теоретико-методологические основы экономической политики городов, образующих агломерацию: монография / З.З Муллагалеева, В.А. Шабашев. — Кемерово: Кузбассвузиздат, 2009.-324 с.
3. Кудрявцев Е. М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. –М.: ДМК Пресс, 2004. – 320 с.: ил. (Серия «Проектирование»).

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ К ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ИСЧИСЛЕНИЯ СОБЫТИЙ

**К.В. Спешилов**

Научный руководитель – д.т.н., профессор В.И. Хабаров  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, costspeshilov@gmail.com

*Данная работа посвящена различным подходам к программной реализации исчисления событий. Рассматриваются существующие реализации на языке программирования Prolog. Предлагается новая реализация на языке программирования C#.*

*This paper deals with different approaches to software implementation of event calculus. Existed Prolog implementations are considered. A new C# implementation is proposed.*

Исчисление событий – это логический формализм, основанный на логике предикатов первого порядка, позволяющий описывать развивающиеся во времени процессы [1]. Данний формализм позволяет рассуждать о действиях, именуемых событиями, и изменяющихся во времени свойствах, называемых флюентами. Одним из важных отличий от других подобных формализмов, таких как ситуационное исчисление, является наличие единой временной линии.

Исчисление событий используется в различных областях искусственного интеллекта: моделировании рабочих процессов, задачах понимания естественного языка, задачах восприятия роботов.

Существующие реализации данного исчисления выполнены в рамках парадигмы логического программирования. Самыми простыми являются реализации на языке Prolog. Однако использование машиной вывода Prolog отрицания как неудачи в теле правил приводит к сложностям в случае рекурсии при наличии циклических зависимостей предикатов (атомов) в правилах [2].

Другим подходом к реализации исчисления событий является использование семантики стабильной модели. Такой подход называется программированием множества ответов (Answer Set Programming, ASP). В ASP проблема отрицания как неудачи решена с помощью ввода так называемого сильного отрицания, в то время как отрицание как неудача называется слабым. Также ASP позволяет использовать дизъюнкции, ограничения.

Для решения задач написанных на языке ASP используются решатели задач выполнимости (SAT solvers), такие как clingo [1].

В рамках данной работы предлагается выйти за рамки парадигмы логического программирования и создать реализацию исчисления событий на языке программирования C#. Такой подход позволяет сохранить метод вывода, присущий рассуждениям на основе здравого смысла, и в то же время с легкостью использовать его в приложениях, написанных на C#.

#### Литература:

1. Mueller E. T. Commonsense reasoning: an event calculus approach. – 2nd ed. – USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc, - 2015, 482p
2. Калиниченко Л. А., Ступников С. А. Унификация языков систем на правилах для обеспечения интероперабельности декларативных программ // Информатика и ее применения – 2012 – №2 – С. 88 – 105.

# **РЕАЛИЗАЦИЯ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ОНЛАЙН-ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ РАБОТЫ С ОНТОЛОГИЯМИ**

**И.С. Степанов**

**Научный руководитель – д.т.н., проф. В.И. Хабаров  
Сибирский государственный университет путей сообщения,  
г. Новосибирск, step\_il@mail.ru**

*В статье дано краткое описание онлайн-ресурса содержащего инструменты для редактирования и отображения описания предметной области в формате онтологий. Обосновано создание единого ресурса содержащего в себе стандартизированные базы знаний. Описано применение ресурса.*

*The paper gives a brief description of the website that has tools for editing and displaying a definition of a subject area in the ontology format. The development of an integrated resource containing a standardized knowledge base is proved. An example of using the website is provided.*

Несмотря на то, что знания осознаются как важный стратегический ресурс обеспечения конкурентных преимуществ хозяйственными субъектами отраслей экономики, на практике возможности технологий управления знаниями используются не в полной мере.

На текущем этапе развития информационного общества остро стоит проблема управления и стандартизации знаний, обусловленная многообразием информационных ресурсов, которые содержат трактовки нередко противоречущие друг другу. Дополнительным фактором, стимулирующим данную потребность, является глобализация экономики и тесное международное сотрудничество.

В качестве стандарта описания знаний предлагается формат онтологий (OWL - Web Ontology Language), данный формат позволяет воспринимать информацию человеку, а также может быть интерпритирован машиной логического вывода [1].

В качестве платформы для работы со знаниями предлагается онлайн ресурс, содержащий инструменты для работы онтологиями на ограниченном естественном языке, а также просмотра представления онтологий в формате повествования либо тезауруса.

Поскольку плановое применение ресурса это создание мультиязычного обучающего комплекса, для работы с ресурсом предусмотрено три роли:

1. Учащийся – человек изучающий предметную область.
2. Преподаватель – носитель знаний в предметной области.
3. Инженер по знаниям – специалист по организации онтологических структур.

Для оптимизации работы по наполнению базы знаний были приняты меры для организации самостоятельной работы преподавателей с редактором онтологий, такие как:

- разработка простого синтаксиса описания онтологий на базе ограниченного естественного языка;
- разработка интуитивно-понятного мультиязычного интерфейса;
- задание базовых структур и отношений.

Интерфейс редактора представлен на рисунке 1.

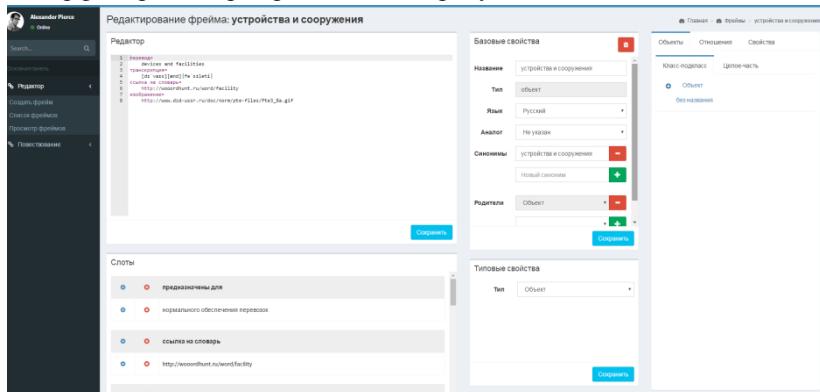


Рисунок 1. - Интерфейс редактора онтологий. Редактор фреймов.

Таким образом задача инженера по знаниям заключается в определении правил описания онтологий и расширения набора базовых структур и отношений.

Редактор предусматривает совместную работу с онтологией нескольких пользователей единовременно и носит транзакционный характер.

#### Литература:

1. Hovy E. Презентации Ontologies: lecture 1 , lecture 2 Issues of Content, lecture 3 Methods for Automated Ontology Building. Information Sciences Institute University of Southern California., с XX летней школы им. В.Матезиуса по лингвистике и семиотике (7-12 марта 2005 г., Карлов университет).

# СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ТРАНСПОРТНЫХ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ

А.А. Теселкин

Научный руководитель – д.т.н., профессор В.И. Хабаров  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, a.tesselkin@gmail.com

*Рассмотрены подходы к оценке транспортных корреспонденций по данным наблюдений. Предложен метод оценки на основе матрицы переходных вероятностей ассоциированной марковской цепи. Рассмотрены байесовские и ОМП-оценки переходных вероятностей.*

*Approaches to the estimation of transport origin-destination flows from the observational data are considered. The estimation method based on the transition probability matrix of the corresponding Markov chain is proposed. Bayesian and MLE estimates of transition probabilities are considered.*

Транспортная корреспонденция определяет общее количество передвижений из точки  $i$  в точку  $j$ . Всевозможные пары точек образуют матрицу корреспонденции (МК), которая используется для моделирования транспортных перемещений в сети. Проблема оценивания корреспонденций заключается в том, что в явном виде они практически не наблюдаются. В связи с этим, существует два подхода к оценке корреспонденций. К первому относятся гравитационные и энтропийные модели, которые предполагают вычисление корреспонденций на основании социально-экономической информации. Второй подход заключается в оценке корреспонденций на основе данных наблюдений за транспортными потоками. В зарубежной литературе исследование таких методов в транспортных и компьютерных сетях получило название «сетевая томография» («network tomography») [1].

Все наблюдения за транспортными потоками в сети можно классифицировать в зависимости от собираемой информации [2]. Существует множество методов восстановления МК (см. [1]) по интенсивности потока на отрезке сети, т.е. по агрегированным (макро) данным [3]. Настоящее же исследование посвящено оценке корреспонденций по микроданным. Соответствующая модель наблюдения предполагает наличие измерений на поворотах сети (т.е. на переходах между отрезками).

Перемещения по транспортной сети могут быть описаны марковской цепь с дискретным временем с матрицей переходных вероятностей  $P$

[2]. Узлы сети ассоциируются с состояниями цепи, а отрезки - с переходами между состояниями.

Для оценки МК  $\rho$  необходимо знать  $P$  и исходное распределение микрообъектов по узлам сети  $\varphi$  (интерпретацией является общий объем жителей, выезжающих из каждого узла). Согласно [2], матрицу переходных вероятностей  $P$  необходимо привести к блочному каноническому виду, рассчитать матрицу опосредованных переходных вероятностей, и применить выражение (1).

$$\rho = \varphi \cdot B, \quad (1)$$

Матрицу переходных вероятностей можно оценить с использованием метода максимального правдоподобия и байесовского метода (2) [3].

$$\hat{p}_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum_j n_{ij}}, \quad \hat{p}_{ij} = \frac{n_{ij} + a_{ij} - 1}{\sum_j n_{ij} + \sum_j a_{ij} - m}, \quad i, j = 1, \dots, m, \quad (2)$$

где  $n_{ij}$  – наблюдаемое значение микрообъектов, осуществивших переход из состояния (узла)  $i$  в состояние  $j$ ,  $a_{ij}$  – априорная информация о переходе.

Исследования показали, что данный метод с использованием ОМП-оценок точно оценивает МК при допустимости предположения о марковском свойстве корреспонденций. При сильном нарушении этого предположения результаты становятся неудовлетворительными. Это характерно для сильносвязных транспортных сетей, например, в густонаселенных городах. Предположение о марковском свойстве можно ослабить при применении байесовских оценок вероятностей перехода.

В реальных задачах предложенный метод рекомендуется применять для использования в слабосвязных сетях, в качестве практического примера была рассмотрена сеть грузового транспорта г. Новосибирска.

#### Литература:

1. Vardi Y. Network tomography: estimating source-destination traffic intensities from link data // J. of the American Statistical Association. – 1996. – N 91. – P. 365-377.
2. Хабаров В.И., Теселкин А.А. Марковские модели в задачах оценивания транспортных корреспонденций // Научный вестник НГТУ. – 2016. – № 1 (62). – С. 91-105.
3. Ли Ц., Джадж Д., Зельнер А. Оценивание параметров марковских процессов по агрегированным временным рядам. – М.: Статистика, 1977. – 221 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В РАЗЛИЧНОЕ ВРЕМЯ СУТОК

К.В. Теселкина

Научный руководитель – д.т.н., доцент В.С. Тимофеев  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, kseniya.habarov@gmail.com

*В работе описан подход к использованию статистических методов для оценки скоростей автомобильного транспорта на участках улично-дорожной сети города в различное время суток. Проведено исследование на основе статистических данных о передвижении автомобилистов г. Новосибирска.*

*This paper describes an approach of usage of statistical methods for estimating the speeds of urban transport at different times of the day. The research using the data on the movement of traffic participants in Novosibirsk was conducted.*

Одними из важнейших характеристик транспортной системы являются скорость, интенсивность и плотность транспортного потока. Основное внимание в данной работе удалено исследованию и построению модели скорости индивидуального транспорта. Приведенные в работе исследования позволяют прогнозировать скорость на участках улично-дорожной сети (УДС), а также оценить качество функционирования транспортной системы.

Скорость движение автомобильного транспорта зависит от различных факторов, таких как число полос на участке УДС, качество дорожного покрытия, кривизна дороги, максимально разрешенная скорость движения, близость перекрестка или пешеходного перехода, уклона дороги и т.д. Также на скорость движения могут повлиять случайные факторы, такие как авария на дороге, поломка светофора, погодные условия [1].

Основные показатели транспортного потока, такие как скорость, интенсивность и плотность изменяются с течением суток. Так, например, пиковые значения приходятся на утренние (с 7 до 9) и вечерние часы (с 18-20). В работе исследуются модели для различных временных промежутков.

Для оценки скоростей движения автомобильного транспорта предлагается использование методов построения географически взвешенных регрессий (GWR).

В качестве исходных данных исследования выступает граф УДС (например, города Новосибирска), вершинами которого являются перекрестки (узлы), а ребрами – перегоны между перекрестками [2].

Граф УДС содержит информацию о типе регулирования перекрестков, числе полос на перегонах, наличии пешеходных переходов, типе перегона (магистральная улица, мелкая улица и т.д.) и максимально разрешенных скоростях на участках УДС. Кроме того, в данной работе была использована следующая статистическая информация: выборка, содержащая записи о моментальных скоростях движения пользователей авто транспорта. Каждый элемент выборки содержит: координаты пользователя, направление движения (азимут) пользователя, моментальную скорость и время фиксации данной скорости.

В рамках данной работы, был написана программная система, которая позволяет:

- создавать и редактировать и визуально представлять граф улично-дорожной сети;
- импортировать данные из различных ГИС систем, в т.ч. PTV VISUM, OSM, 2GIS, Google Maps;
- обрабатывать большие объемы исходных данных о передвижении пользователей транспортной системы;
- на основе вышеописанных исходных данных построить географически взвешенную регрессию скорости движения автомобильного транспорта;
- графически представить полученное распределение скоростей на участках УДС.

Литература:

1. Использование географически взвешенных регрессий (GWR) для оценки параметров транспортной сети. К.В. Теселкина, В.С. Тимофеев // Анализ, моделирование, управление, развитие социально-экономических систем: сборник научных трудов X Международной школы-симпозиума АМУР-2016, Симферополь-Судак, 12-21 сентября 2016 / Под ред. А. В. Сигала. – Симферополь : КФУ имени В. И. Вернадского, 2016. – 444 с.
2. Интеллектуальная система для стратегического управления пассажирским комплексом Красноярска и агломерации. К.В. Хабарова, А.А. Теселкин, В.И. Хабаров, С.В. Еремин // Бюллетень транспортной информации: Журнал. – М., 2013. – Февраль 2013 (212). – С. 12-19.

## **ОЦЕНКА СПРОСА НА РЫНКЕ УСЛУГ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В Г.КРАСНОЯРСКЕ**

**А.А. Тятиюшкина, А.В. Рупич**

**Научный руководитель – к.э.н., доцент Н.В. Федорова**

**Сибирский государственный аэрокосмический университет имени  
академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, nvfed@mail.ru**

*В статье представлены результаты исследований факторов спроса на рынке услуг высшего образования г. Красноярска. Результаты опроса позволили составить рекомендации по профориентации для абитуриентов с учётом всех выявленных условий.*

*The article presents the results of studies of demand factors in the market of higher education services of Krasnoyarsk. The results of the survey to make recommendations on career guidance for students, taking into account all the identified conditions.*

При широком выборе специальностей и развитии технологий особую актуальность приобретает изучение факторов, формирующих спрос на услуги высшего образования. Функционирование рынка услуг высшего образования г. Красноярска имеет ряд особенностей. Во-первых, в регионе за последние годы сокращалось количество студентов. Во – вторых, в Красноярске функционируют два вуза занимающие высокие позиции в рейтинге высших учебных заведений России [1]. В вузах на территории города обучаются около 99 тысяч студентов. С целью изучения намерений потенциальных абитуриентов в отношении выбора вуза и специальностей 2016 г. было проведено маркетинговое исследование методом опроса. В качестве объекта исследования выступили учащиеся школ и гимназии. Объем выборки составил 186 учащихся.

По результатам проведенного исследования 87% респондентов ориентировано на получение высшего образования, а 13% на получение средне-специального. Большинство опрошенных предпочитает государственные вузы нашего города - 86%. Из них выбор был сделан в пользу СФУ, СибГАУ и КрасГМУ.

Анализ данных показал [2], что наиболее важными факторами для выпускников школ являются: наличие интересующего направления в вузе - 98,8%; возможность дальнейшего трудоустройства - 91,8%; количество бюджетных мест - 88,3%; доступная стоимость обучения - 82,5%; проходной балл ЕГЭ - 79%. Факторами средней значимости стали: материально-техническая база вуза - 67,4%; статус государственного вуза - 53,4%; мнение родителей - 51,1%; наличие

магистратуры-48,8%; контакт с зарубежными вузами-47,6%. А вот на мнение друзей-17,4%, отзывы выпускников-34,8%; наличие общежитий-36% и удобное местоположение вуза-36% учащиеся меньше всего обращают внимание.

В профессиональных предпочтениях выпускников школ продолжают лидировать направления подготовки: «Инженерное направление»-26,7% и «Экономика и управление»-25,5%. Средние позиции занимают: «Гуманитарные науки»-16,2%; «Медицина»-15,1% и «Юриспруденция»-11,6%. Наименьший процент предпочтения у группы «Военное дело». Значимой причиной выбора для учащихся школы является интересность профессии, так заявили 47% опрошенных. На втором месте материальная мотивация-26%, на третьем месте престижность-17% и на последнем месте советы родителей-10%

Процесс принятия решения о выборе вуза в большей степени зависит от источников информации. По результатам проведенного исследования выявлено, что наиболее популярными источниками информации для выпускников школ являются сайты вузов и социальные сети-59%, мнение родителей и друзей-22%, «Дни открытых дверей»-19%.

Изучение предполагаемых респондентами намерений после окончания бакалавриата показало, что около половины опрошенных – 51% планируют трудоустраиваться, 30% - продолжить обучение в магистратуре, 19% учащихся затруднились ответить.

В связи с развитием технологий часть профессий устаревает и уходит из нашей жизни. Поэтому учащимся следует обращать на перспективные и востребованные в будущем отрасли и профессии.Строительство, информационные технологии, безопасность, биотехнологии, финансовый сектор.

Именно на эти отрасли мы рекомендуем обратить своё внимание выпускникам, поэтому студентам, окончившим своё образование в этих областях и имеющим прочные знания и соответствующие навыки, гарантировано дальнейшее трудоустройство и высокий спрос на рынке труда.

#### Литература:

1. Ендовицкий Д.А. Анализ предпочтений выпускников школ при выборе профессии/ Д.А. Ендовицкий // Высшее образование в России. – 2009. - №6. – С. 117-022.
2. Кайдашова А.К. Методика оценки зависимости потребительского спроса на услуги высшей школы от различных факторов// Маркетинг и маркетинговые исследования. -2010. -№ 4. С. 338-349.

# **РАЗМЕР ЗАРАБОТНОЙ ПЛАТЫ КАК РЕШАЮЩИЙ ФАКТОР НЕПРОФИЛЬНОГО ТРУДОУСТРОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ**

**С.А. Фирсова**

**Научный руководитель – к.э.н. А.Ю. Тимофеева  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, [ama.st.sandra@gmail.com](mailto:ama.st.sandra@gmail.com)**

*Исследование, описанное в этой статье, направлено на выявление влияния размера заработной платы специалистов высшего уровня квалификации в области технических наук на их трудоустройство по специальности.*

*The research described in this article is aimed at identifying the impact of wage, high-level qualified specialists in the technical sciences to their employment in their field.*

Большинство исследователей отмечают, что в России содержание основной работы выпускников ВУЗов нечасто соответствует их специальности. Основная профессия и вузовская специальность чаще совпадают у выпускников обществоведческих специальностей, чем у технических специалистов [1]. Такое различие является следствием множества факторов, влияющих на выбор сферы труда, одним из которых является заработка плата. Ввиду чего становится актуальным вопрос о взаимосвязи размера заработной платы специалистов высшего уровня квалификации в области технических наук с их трудоустройством не по специальности.

Для выполнения настоящего исследования были задействованы эконометрические методы с использованием программной среды R. Использованы данные репрезентативного микроэкономического обследования – Российского мониторинга НИУ ВШЭ (RLMS-HSE).

В данной работе используются результаты RLMS-исследования 2014 г. [2]. Для определения области квалификации специалистов высшего уровня был задействован кодификатор профессий и специальностей по ISCO-88. К специалистам технической области квалификации высшего уровня, согласно ISCO-88, были отнесены: физики, химики, математики, статистики, специалисты в вычислительной технике, а также архитекторы, инженеры и подобные специалисты.

С целью выполнения данной работы из выборки 2014 г. были выделены переменные, отображающие: код профессии по ISCO88 основной работы; код профессии по ISCO88 первой специальности университета, включая магистратуру; среднемесячную зарплату респондента после вычета налогов.

В исходной выборке 3278 респондентов не имеют технического образования, из них 145 работают по технической специальности, в отличие от оставшихся 3133 респондентов. Среди опрошенных 1513 респондентов имеют высшее техническое образование, из них только 63 респондента работают по специальности, против 1450 респондентов выбравших иную сферу деятельности.

Далее были проанализированы переменные о заработной плате респондентов, не работающих по технической специальности, получивших в качестве первого высшего техническое образование, и респондентов, работающих по технической специальности, получивших техническое образование.

На основе статистического анализа этих данных были сделаны следующие выводы:

1. Разница в отклонениях заработной платы от среднего значения специалистов с техническим образованием, работающих по специальности и технических специалистов, не работающих по специальности, незначима на 95% доверительном уровне.

2. Средняя заработная плата людей, получивших техническую специальность и работающих по ней, составляет 22805 рублей, что более чем на тысячу выше, чем у тех, кто получил техническую специальность и не работает по ней. Однако проверка гипотезы о равенстве средних значений с помощью критерия Стьюдента показала, что разница между средними значениями не является статистически значимой, на 95% доверительном уровне.

Принимая во внимание эти выводы, было решено проверить следующую гипотезу: оплата труда людей, получивших техническую специальность, существенно не зависит от того, работают ли они по специальности. По итогам проверки по критерию хи-квадрат Пирсона было выяснено, что заработная плата специалистов высшего уровня квалификации в области технических наук существенно не зависит от того, работают ли они по специальности, с доверительной вероятностью, равной 95%. Критерии Колмогорова-Смирнова и ранговых сумм Уилкоксона подтвердили этот результат.

Таким образом, заработная плата не является решающим фактором в выборе области трудовой деятельности специалистами высшего уровня квалификации в области технических наук.

#### Литература:

1. Работающие студенты: соотношение профессии и занятия [Электронный ресурс]. — Режим доступа

[http://ecsocman.hse.ru/data/850/696/1219/Programma\\_issledovaniya\\_i\\_obzor\\_literatury.pdf](http://ecsocman.hse.ru/data/850/696/1219/Programma_issledovaniya_i_obzor_literatury.pdf). – Загл. с экрана.

2. Российский мониторинг экономического положения и здоровья населения НИУ-ВШЭ (RLMS-HSE) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.hse.ru/rlms/>. – Загл. с экрана.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРАТЕГИЙ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ С УЧЕТОМ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

**М.С. Хван, К.А. Зайков, Д.С. Лишко**

**Научный руководитель – к.э.н., доцент Л.К. Серга  
Новосибирский государственный университет экономики и  
управления «НИХ», г. Новосибирск, hvan2013@ngs.ru**

*В исследовании предлагается авторский подход формирования стратегий развития территорий (на примере субъектов РФ) с учетом их уровня экологической безопасности и темпа прироста заболеваемости злокачественными новообразованиями.*

*The study proposes the author's approach to the forming of development strategies of different territories (for example, the subjects of the Russian Federation) with regard to level of their environmental safety and the growth rate of cancer incidence.*

Проблемы измерения и оценки экологической безопасности территорий являются актуальными, что подтверждается наличием большого количества исследований по данной тематике, которые, в свою очередь, вызваны стремительно развивающимся воздействием человека на окружающую среду.

В рамках настоящего исследования важно не только оценить состояние экологической безопасности территорий, но и разработать стратегии их развития с учетом уровня экологической безопасности. Таким образом, целью данного исследования является моделирование стратегий развития территорий с учетом их уровня экологической безопасности.

В качестве объекта исследования были рассмотрены субъекты РФ.

Источник информации – база данных Федеральной службы государственной статистики. Сопоставимость данных была обеспечена за счет использования методов нормирования.

Система показателей включает в себя показатели: отражающие негативное/благоприятное влияние человеческой деятельности на состояние окружающей среды; отражающие внедрение организациями

экологических инноваций; характеризующие производственную деятельность, оказывающую воздействие на экологическую безопасность.

Классическая матрица Бостонской консультативной группы «рост/доля» была адаптирована в матрицу «Заболеваемость – Уровень экологической безопасности». Где по оси *Y* отражаются значения показателя «темп прироста заболеваемости населения злокачественными новообразованиями», по оси *X* – «уровень экологической безопасности». Критической точкой перехода по оси *Y* будем считать темп прироста заболеваемости злокачественными новообразованиями для России (0,039). По оси *X* отражается уровень экологической безопасности, рассчитанный на основе сформированной системы показателей. Для расчета интегральной оценки использовался метод многомерной средней, позволивший получить оценки от 0 до 1. Критической точкой перехода по оси *X* будем считать значение 0,5. Адаптированная матрица представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Матрица «Заболеваемость – Уровень экологической безопасности»

Для типов «кризисное состояние», «предкризисное состояние» необходимо работать над повышением уровня экологической безопасности. Для типов «кризисное состояние», «турбулентное состояние» необходимо сокращать заболеваемость злокачественными новообразованиями через систему превентивных мер. Тип «устойчивое состояние» характеризуется стабильным положением, которое необходимо сохранять и работать над повышением уровня устойчивости и сокращением уровня заболеваемости населения.

Адаптированная матрица была апробирована на субъектах РФ за 2014 г. В результате в квадрант «кризисное состояние» попало 13 субъектов РФ, «предкризисное» – 14, «турбулентное» – 31, «устойчивое» – 25. По результатам исследования Новосибирская область попала в группу «устойчивое состояние».

Результаты данного исследования могут быть использованы как для мониторинга за состоянием территорий РФ, так и для разработки мероприятий, способствующих их устойчивому развитию.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-36-00331 «Экономико-математическое моделирование уровня экологической безопасности социально-экономических систем».

## **КВАЛИТАТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ ПРЕДПРИЯТИЯ**

**А.С. Цыганкова**

**Научный руководитель – к.э.н., доцент Ю.А. Безрукых**

**Лесосибирский педагогический институт филиал ФГАОУ ВО**

**«Сибирский федеральный университет»,**

**г. Лесосибирск, shura-alexandra1995@yanxdex.ru**

*В работе отражен уровень исследованности проблемы применения методов квазитативного моделирования в экономике предприятия, обозначены основные проблемы и показана область применения. Приведены результаты анализа отечественной и зарубежной экономической литературы.*

*The work reflects the level of issledovano problems of application of methods of quality modeling in Economics, identified the main problems and the area of application. The results of the analysis of domestic and foreign economic literature.*

В настоящее время существует множество математических методов, применяемых в области отечественной экономики, например, корреляционно-регрессионный анализ, балансовый метод, системный анализ и др. Однако, существуют также математические методы, которые применяются пока лишь за рубежом. Одним из таких методов является квазитативное моделирование.

Анализ научной литературы по данной проблеме показал, что в отечественной экономической литературе методы квазитативного моделирования не применяются, а в зарубежной литературе предпосылки становления, основы и приложения квазитативного моделирования рассмотрены в работах M. Dohnal [1], I. Meznik [2], T. Vicha [3] и др.

Не смотря на то что при моделировании нельзя получить столь же исчерпывающие знания, как в процессе экспериментирования с оригиналом, у квазитативного моделирования есть свои плюсы: во-первых, моделирование позволяет имитировать функции объектов, прогнозировать их будущие свойства или поведение в новых ситуациях

и, что самое главное, принимать на основе этой информации верные решения; во-вторых, если исследование объекта или явления осложнено по причине дорогоизны проведения опытов либо из-за невозможности непосредственного наблюдения, моделирование позволяет заменить в определённом отношении изучаемый предмет.

Новизна и значимость исследования состоит в том, что посредством методов квазититативного моделирования мы сможем построить модель развития предприятий лесопромышленного комплекса, а впоследствии все те же методы квазититативного моделирования помогут создать устойчивый лесопромышленный кластер.

Литература:

1. Dohnal, M. A methodology for common-sense model development (Методология разумной модели развития) / M. Dohnal // Computers in Industry. – 1991. – No. 16(2). – pp. 141 – 158.
2. Meznič, I. A Consistency qualitative analysis of complex real-life models (Квазититативный анализ сложных реальных моделей) [Electronic source] / I. Meznič, M. Dohnal. – Palermo, 2000. – 5 p. – URL: <http://math.unipa.it/~grim/Jmeznič.PDF> (accessed 10.09.2016).
3. Vicha, T. Methodology of creation qualitative models. In Management, economics and business development in the new European conditions (Методология создания квазититативных моделей: в управлении, экономике и развитии бизнеса) / T. Vicha. – Brno: Faculty of Business and Management, 2005. – 12 p.

## О ПРИМЕНИМОСТИ ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ И СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧНОГО РАЗМЕРА ЗАКАЗА

М.В. Шкиль

Научный руководитель – к.э.н. А.Ю. Тимофеева  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, shkil.m.v@gmail.com

В данной работе рассмотрено применение детерминированной и стохастической модели экономичного размера заказа к реальным данным о продажах полиграфической продукции.

In this paper, we consider the use of the determined and stochastic economic order quantity model to real data on sales of printing products.

Одной из важных задач, стоящих перед торгово-посреднической организацией, является рациональное управление запасами, так как

зачастую срок поставки продукции занимает длительный промежуток времени [1]. Чтобы решить эту задачу нужно: в первую очередь определить ожидаемый спрос на продукцию, а затем рассчитать оптимальный объем запасов.

Целью работы является анализ данных о продажах торгово-посреднической организации Новосибирской области и определение экономичного размера заказа.

В качестве исходных данных имеется информация о продажах полиграфической продукции Новосибирской компании за период с 2012 по 2016 год. Данные представлены в виде временных рядов, отображающих объем продаж определенного товара на конкретную дату. Для иллюстрации выбран один вид продукции - фольга холодного теснения голограмма-серебро.

Применение среднего значения за год для оценки ожидаемого спроса не дает правильного прогноза, так как спрос на полиграфическую продукцию имеет непостоянный характер с разной периодичностью. Предлагается использовать метода Кростона для расчета ожидаемого спроса на продукцию. Данный метод эффективно используется для редких покупок. Коэффициент сглаживания был выбран 0.4, так как ряд можно назвать быстроменяющимся. Таким образом, была получена ожидаемая суточная интенсивность продаж, равная 5.7 метров в сутки.

Применение простейших моделей управления запасами возможно при следующих допущениях: постоянный во времени спрос, мгновенное пополнение запаса и отсутствие дефицита [2]. Для расчета оптимального объема заказа была использована детерминированная модель и решена классическая задача определения экономичного размера заказа. При этом возникали некоторые сложности, связанные с недостатком исходных данных. Затраты на оформление заказов были рассчитаны исходя из почасовой оплаты труда сотрудника и заданного количества времени на выполнение операции. При определении затрат на хранение фольги на складе была использована действующая ставка рефинансирования и издержки на покупку. В результате была получена оптимальная стратегия управления запасами: экономичный размер заказа – 31 метр, который нужно возобновлять при уменьшении его уровня до 12 метров.

Однако данная стратегия не учитывает вероятностную природу спроса. Чтобы она была учтена, существует «рандомизированная» модель экономичного размера заказа, которая предполагает существование постоянного буферного запаса [2]. На основании расчетов для детерминированной модели и с условием, что вероятность истощения запаса не превышает 0.05, было получено: оптимальная

политика управления запасами с объемом резерва 227 метра состоит в заказе 30 метра, как только объем запаса уменьшится до 238 метров.

Из анализа результатов можно определить, что вторая модель имеет большой недостаток. Для расчетов буферного запаса используется среднеквадратическое отклонение, а так как спрос на эту продукцию можно назвать редким, то полученное значение велико. То есть необходимо хранить на склад запас продукции, почти в 10 раз превышающий ежедневный спрос. Таким образом, данные модели обеспечивают оптимальность решения только в рамках применяемых допущений, однако при работе с реальными данными полученные результаты могут быть неприменимы, поэтому необходима адаптация существующих методов к анализу редких покупок или разработка новых методов.

Литература:

1. Сергеев И.И., Экономика организации (предприятия): учеб. пособие для бакалавров / И. В. Сергеев, И. И. Веретенникова; под ред. И. В. Сергеева. – 5-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2013. – 671 с. – Серия: Бакалавр. Базовый курс.
2. Таха Х. А. Введение в исследование операций, 6-е издание: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 912 с.: ил.

## СОДЕРЖАНИЕ

### НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ – ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

#### Секция – Математическое моделирование, анализ и обработка данных

1.	Ашимов И.Н.	<i>Самара</i> .....	3
2.	Баханец А.Е.	<i>Новосибирск</i> .....	5
3.	Бектемиров И.Т.	<i>Новосибирск</i> .....	7
4.	Березин Д.В.	<i>Томск</i> .....	9
5.	Блинова М.А.	<i>Новосибирск</i> .....	11
6.	Боброва М.В.	<i>Томск</i> .....	12
7.	Гармс П.Г.	<i>Омск</i> .....	14
8.	Гоголев И.В., Яшин Г.Ю.	<i>Санкт-Петербург</i> .....	16
9.	Гужа Е.Д.	<i>Самара</i> .....	18
10.	Давыдова С.Г.	<i>Новосибирск</i> .....	20
11.	Даутбаева В.Р.	<i>Томск</i> .....	22
12.	Джайков Г.М.	<i>Новосибирск</i> .....	24
13.	Иващенко А.О.	<i>Томск</i> .....	26
14.	Индыгашева Н.С.	<i>Томск</i> .....	28
15.	Ким Д.Н.	<i>Новосибирск</i> .....	30
16.	Кинева М.О.	<i>Томск</i> .....	32
17.	Компанеец О.Е.	<i>Омск</i> .....	34
18.	Либрехт В.Ю.	<i>Новосибирск</i> .....	36
19.	Михалев А.С.	<i>Красноярск</i> .....	38
20.	Морозов К.С.	<i>Новосибирск</i> .....	40
21.	Новикова А.Ю.	<i>Новосибирск</i> .....	41
22.	Паршина О.В.	<i>Томск</i> .....	43
23.	Петров А.А.	<i>Екатеринбург</i> .....	45
24.	Письмаров А.В., Купцов В.В., Ашимов И.Н., Николаева Е.А.	<i>Самара</i> .....	48
25.	Поверин Д.В.	<i>Новосибирск</i> .....	50
26.	Решетникова М.А.	<i>Самара</i> .....	52
27.	Решетникова М.А.	<i>Самара</i> .....	54
28.	Соколова А.Н.	<i>Самара</i> .....	56
29.	Цветков А.Е.	<i>Новосибирск</i> .....	57
30.	Годовых А.В., Степанов Б.П., Шевелева А.А.	<i>Томск</i> .....	59
31.	Шост И.Ю.	<i>Новосибирск</i> .....	61
32.	Юмчмаа А.	<i>Новосибирск</i> .....	63

**Секция – Численное моделирование физических процессов в технологиях и природных явлениях**

33.	Бессонова М.П.	<i>Томск</i> .....	66
34.	Борисовская Н.Е.	<i>Новосибирск</i> .....	67
35.	Бублей П.А.	<i>Новосибирск</i> .....	69
36.	Бубнов А.Д., Винтер М.Ю., Блинов В.Л.	<i>Екатеринбург</i> .....	71
37.	Вагнер И.А.	<i>Новосибирск</i> .....	73
38.	Васькина А.Э., Москвитина П.И.	<i>Томск</i> .....	75
39.	Винтер М.Ю., Бубнов А.Д., Блинов В.Л.	<i>Екатеринбург</i> .....	76
40.	Воеводин П.С.	<i>Самара</i> .....	79
41.	Вотинов В.Р., Вязов Ю.Н.	<i>Новосибирск</i> .....	81
42.	Дабаева А.Б., Мункуева В.А.	<i>Улан-Удэ</i> .....	82
43.	Давыдова С.Г.	<i>Новосибирск</i> .....	84
44.	Дундукова К.В.	<i>Новосибирск</i> .....	86
45.	Железнova A.A.	<i>Новосибирск</i> .....	88
46.	Загубисало П.С.	<i>Новосибирск</i> .....	89
47.	Загуменнов Д.А.	<i>Новосибирск</i> .....	91
48.	Зимоглядова О.А.	<i>Новосибирск</i> .....	93
49.	Ивакин В.О.	<i>Новосибирск</i> .....	94
50.	Иванова С.С.	<i>Самара</i> .....	95
51.	Исламов Д.Р.	<i>Новосибирск</i> .....	97
52.	Карпилов И.Д., Мустафин Р.М.	<i>Самара</i> .....	99
53.	Кислицын С.А.	<i>Новосибирск</i> .....	101
54.	Кислицын С.А., Митин К.А.	<i>Новосибирск</i> .....	103
55.	Константинов А.П.	<i>Новосибирск</i> .....	105
56.	Кочетов А.С.	<i>Новосибирск</i> .....	107
57.	Купцов В.В.	<i>Самара</i> .....	109
58.	Курский Д.Н., Киселев Д.С., Домников П.А.	<i>Новосибирск</i> .....	110
59.	Максимов А.А., Демидович В.Б., Хацаок М.Ю.	<i>Красноярск</i> .....	113
60.	Малаканов С.А., Железков О.С., Арзамасцева В.А.	<i>Магнитогорск</i> .....	115
61.	Марков С.И.	<i>Новосибирск</i> .....	117
62.	Москвитина П.И., Васькина А.Э.	<i>Томск</i> .....	118
63.	Мункуева В.А., Дабаева А.Б.	<i>Улан-Удэ</i> .....	119
64.	Николаева Е.А.	<i>Самара</i> .....	121
65.	Новицкий Д.Ю.	<i>Новосибирск</i> .....	123
66.	Павлючик М.С.	<i>Новосибирск</i> .....	125
67.	Палкин Р.В., Гойко В.Л.	<i>Томск</i> .....	127
68.	Патрушев И.И.	<i>Новосибирск</i> .....	129
69.	Погудалина С.В.	<i>Новосибирск</i> .....	131
70.	Поливанова А.С.	<i>Томск</i> .....	133

71.	Полищук С.Ю.	Новосибирск	135
72.	Решетова А.И.	Новосибирск	137
73.	Смольянов И.А., Ромашин А.А., Швыдкий Е.Л.	Екатеринбург	139
74.	Соболев И.С.	Самара	141
75.	Соловьева Е.О.	Новосибирск	143
76.	Спирина А.А., Настовъяк А.Г.	Новосибирск	144
77.	Степанова Д.Л., Никулин П.А.	Томск	147
78.	Сулейманова К.А.	Новосибирск	149
79.	Трилис А.В.	Новосибирск	151
80.	Трофимова С.А.	Новосибирск	153
81.	Трубачев С.А.	Новосибирск	155
82.	Цибизов Л.В., Романенко Ю.М.	Новосибирск	156
83.	Чубаров Д.Л.	Томск	159

### **Секция – Математическое и программное обеспечение информационных технологий**

84.	Ахпашев Р.В.	Новосибирск	161
85.	Батрацкий С.В., Белых В.С., Твардовский А.С.	Томск	163
86.	Бункова А.А., Долгих А.Ю., Бокова Р.С.	Новосибирск	165
87.	Васильев А.С.	Новосибирск	167
88.	Горлова Н.А.	Новосибирск	169
89.	Ильина М.А.	Новосибирск	171
90.	Жихарев А.Г., Корчагина К.В., Бузов П.А.	Белгород	173
91.	Кочан М.В.	Новосибирск	175
92.	Лебедев А.О., Федоринин В.Н.	Новосибирск	177
93.	Линкевич Н.А.	Новосибирск	179
94.	Маринич Р.А.	Новосибирск	181
95.	Ондар М.М.	Новосибирск	183
96.	Пахоруков А.С.	Новосибирск	184
97.	Пацан А.В.	Новосибирск	186
98.	Пепеляева М.А.	Новосибирск	188
99.	Попов Е.А.	Новосибирск	190
100.	Стасышин Т.В.	Новосибирск	192
101.	Уваров В.Е.	Новосибирск	194
102.	Хатеев О.И.	Новосибирск	196
103.	Холкин В.В.	Новосибирск	198
104.	Чавдар К.Т.	Новосибирск	200
105.	Чернышева Н.С., Ионов А.Б.	Омск	201
106.	Чибурун С.Д.	Новосибирск	204
107.	Шабля Ю.В., Мельман В.С.	Томск	206

**Секция – Экономико-математические методы, статистика и  
эконометрика**

108. Алетдинова Т.А.	<i>Новосибирск</i> .....	209
109. Архипенко Е.П.	<i>Новосибирск</i> .....	211
110. Бедарев Н.В., Красникова К.В.	<i>Новосибирск</i> .....	213
111. Верещагин К.Р.	<i>Новосибирск</i> .....	215
112. Ершов И.А.	<i>Томск</i> .....	217
113. Ким М.Д.	<i>Новосибирск</i> .....	219
114. Кинева М.О.	<i>Томск</i> .....	221
115. Клокова А.С.	<i>Новосибирск</i> .....	223
116. Коношенко Ю.А.	<i>Новосибирск</i> .....	224
117. Кравченко О.П.	<i>Новосибирск</i> .....	226
118. Ландман Л.А.	<i>Новосибирск</i> .....	228
119. Панарина А.А.	<i>Новосибирск</i> .....	230
120. Садыкова Н.Ш.	<i>Новосибирск</i> .....	232
121. Самусь Д.А.	<i>Новосибирск</i> .....	235
122. Слепенкова Ю.М.	<i>Новосибирск</i> .....	236
123. Смачёв К.М.	<i>Новокузнецк</i> .....	238
124. Спешилов К.В.	<i>Новосибирск</i> .....	240
125. Степанов И.С.	<i>Новосибирск</i> .....	242
126. Теселкин А.А.	<i>Новосибирск</i> .....	244
127. Теселкина К.В.	<i>Новосибирск</i> .....	246
128. Тятошкина А.А., Рупич А.В.	<i>Красноярск</i> .....	248
129. Фирсова С.А.	<i>Новосибирск</i> .....	250
130. Хван М.С., Зайков К.А., Лишко Д.С.	<i>Новосибирск</i> .....	252
131. Цыганкова А.С.	<i>Лесосибирск</i> .....	254
132. Шкиль М.В.	<i>Новосибирск</i> .....	255

**НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ**  
**Сборник научных трудов в 9 частях**

**г.Новосибирск, 05-09 декабря 2016 г.**

**Часть 2**

**под ред. проф. Б.Ю. Лемешко, проф. А.А. Попова,  
проф. М.Э. Рояка, доц. В.С. Тимофеева**

Подписано в печать 28.11.2016.. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.  
Уч.-изд. л. 15,34. Печ. л. 16,5. Изд. №314. Тираж 100 экз. Заказ № 1640

Отпечатано в типографии  
Новосибирского государственного технического университета  
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20