

## О СТАТИСТИЧЕСКОМ ОЦЕНИВАНИИ ПАРАМЕТРОВ РЕГРЕССИИ ПРИ НАЛИЧИИ СЛУЧАЙНОГО ЦЕНЗУРИРОВАНИЯ

Е. С. Агеева

### МОДЕЛЬ

Рассмотрим модель множественной линейной регрессии, заданную уравнением [1]:

$$Y_t = \sum_{i=1}^M \theta_i X_t^i + \theta_0 + \xi_t, t = 1, \dots, n, \quad (1)$$

где  $\{\xi_t\}$  – независимые в совокупности нормальные одинаково распределённые случайные величины с математическим ожиданием 0 и дисперсией  $0 < \sigma^2 < \infty$ ;  $\{\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_M\}^T$  называются коэффициентами регрессии,  $\{X_t^i\}$ ,  $i = 1, \dots, M$  – регрессорами,  $\{\xi_t\}$  – случайными величинами ошибок. Будем предполагать  $\sigma^2$  известным. Нами будут наблюдаться значения регрессоров  $\{X_t^i\}$ ,  $i = 1, \dots, M$ ,  $t = 1, \dots, n$  и события  $Y_1 \in [a_1, b_1], \dots, Y_n \in [a_n, b_n]$  вместо точных значений  $Y_1, \dots, Y_n$ ; здесь  $[a_t, b_t]$ ,  $t = 1, \dots, n$  – интервал цензурирования,  $a_t \leq b_t$ .

Требуется построить оценки максимального правдоподобия для вектора регрессионных коэффициентов  $\theta = (\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_M)^T$  и получить асимптотическое выражение этой оценки в асимптотике  $\Delta_t = b_t - a_t \rightarrow 0$ , используя разложение в ряд по  $\Delta_t$ . Для найденных оценок требуется получить выражения для смещения и матрицы вариаций.

### ОЦЕНКИ И ИХ СВОЙСТВА

Пусть матрица  $X = \begin{pmatrix} 1 & X_1^1 & \dots & X_1^M \\ 1 & X_2^1 & \dots & X_2^M \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & X_n^1 & \dots & X_n^M \end{pmatrix} = (X_{t,j})_{\substack{t=1,\dots,n \\ j=1,\dots,M+1}}$  – это  $n \times (M+1)$ - матрица эксперимента,  $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$  – функция Лапласа.

познавания объектов. Также оно может использоваться для мониторинга заболеваний путем контроля изменений на изображениях.

Существует ряд алгоритмов позволяющих построить бинарный 3D скелет. Но из-за особенностей медицинских изображений таких как зашумленность, большие расстояния между слоями, геометрические и оптические искажения, нечеткие границы объектов, динамическое изменение объектов, с их помощью нельзя построить устойчивые к шумам средние линии. К тому же в случае исследования лучевыми методами много информации получают на основе данных плотности ткани. Для решения этой задачи разработан алгоритм полутонного утоньшения, позволяющий построить образ сосудистой системы для дальнейшего анализа. В основе построения скелета сосудов лежит алгоритм псевдодистанционной карты [1], расширенный на трехмерный случай.

## 1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Средние линии имеют несколько различных математических определений, содержащихся в технической литературе. Эти определения аналогичны для непрерывных пространств, но обычно приводят к разным результатам в дискретных пространствах.

В двумерном случае средняя линия фигуры это множество кривых, определяемых как геометрическое место точек, которые имеют, по крайней мере, две ближайшие точки границы фигуры [2]. В трехмерном случае, соответствующий объект называется средней (или медиальной) плоскостью.

Наиболее наглядное определение средней линии дается через точки гашения в модели распространения огня, где граница фигуры сделана полностью из сухой травы, которую подожгли и средняя линия состоит из множества точек, где огни разных фронтов встречаются и гасят друг друга [3].

Также средние линии могут определяться как геометрическое место центров максимальных шаров (или дисков в двухмерном случае) [4]. Более формально, положим  $X \subset R^3$  – трехмерный объект. Шар радиуса  $r$  с центром в точке  $x \in X$  определяется как  $S_r(x) = \{y \in R^3, d(x, y) < r\}$ , где  $d(x, y)$  – расстояние между двумя точками  $x$  и  $y$  в  $R^3$ . Шар  $S_r(x) \subset X$  называется максимальным, если для него не существует шара большего радиуса, принадлежащего объекту, полностью содержащего  $S_r(x)$ .

Основное неудобство средних линий состоит в чувствительности к небольшим изменениям границ объекта.. Чем больше изменений на границе, тем больше ветвей в скелете. И большинство этих ветвей – беспо-

## АЛГОРИТМЫ КРЕДИТНОГО СКОРИНГА НА ОСНОВЕ ЭКОНОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

В. С. Дежемесова, Б. А. Барановский

На практике управление кредитным риском коммерческим банком предполагает решение задач анализа и классификации заемщиков по степени кредитоспособности. Важным инструментом анализа и принятия решений является *кредитный скоринг* (*credit scoring*), осуществляемый с помощью систем автоматической классификации потенциальных заемщиков коммерческого банка на основе доступной информации.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Будем предполагать, что при оценке (прогнозировании) состояния заемщика на момент окончания срока кредитного договора наряду с вектором контролируемых признаков  $x = (x_1, \dots, x_N)' \in \mathfrak{R}^N$  (балансовых показателей и показателей качества обслуживания долга) используется вектор экзогенных переменных (факторов)  $z = (z_1, \dots, z_M)' \in Z \subset \mathfrak{R}^M$ , описывающих влияние на состояние заемщиков со стороны общих внешних экономических факторов.

Предположим, что существующая между векторами  $x \in \mathfrak{R}^N$  и  $z \in Z$  статистическая зависимость для  $t$ -го заемщика описывается эконометрической моделью многомерной линейной регрессии:

$$x_t = B_l z_t + u_t, \quad l \in S(L) = \{1, \dots, L\}, \quad t = 1, \dots, T, \quad (1)$$

где для класса заемщиков  $\Omega_l$ :  $B_l = (b_{lje}) - (N \times M)$  - матрица коэффициентов регрессии,  $Z \subset \mathfrak{R}^M$  - ограниченная замкнутая область, такая, что  $(B_i - B_j)z \neq 0, (i \neq j)$  при  $z \in Z$ ;  $u_t \in \mathfrak{R}^N$  - гауссовский случайный вектор с нулевым средним значением и невырожденной ковариационной  $(N \times N)$  - матрицей  $\Sigma_l = (\sigma_{ljk})$ .

Пусть истинные значения параметров  $\{\pi_l\}, \{B_l\}, \{\Sigma_l\} (l \in S(L), L \geq 2)$  модели (1) не известны. Имеется неклассифицированная обучающая выборка значений признаков  $X = \{x_1, \dots, x_T\}$  объема  $T$  из классов  $\{\Omega_l\} (l \in S(L))$ , соответствующая последовательности значений факторов  $Z = \{z_1, \dots, z_T\}$ , где значение вектора признаков  $x_t \in \mathfrak{R}^N$  определяется на основании (1) для заданного номера класса  $l$  и значения вектора факторов  $z_t \in Z$  ( $t = 1, \dots, T$ ).

В рамках рассматриваемой модели наблюдений выборку регрессионных наблюдений  $X = \{x_1, \dots, x_T\}$ , соответствующую последовательности значений факторов  $Z = \{z_1, \dots, z_T\}$ , можно рассматривать как случайную выборку из смеси распределений регрессионных наблюдений, плотность распределения вероятностей для которой имеет вид:

$$p_\pi(x, z, \theta) = \sum_{l=1}^L \pi_l n_N(x | B_l z, \Sigma_l) = \sum_{l=1}^L \pi_l p(x, z, \theta_l), \quad x \in \mathcal{R}^N, \quad z \in Z, \quad (2)$$

где  $\theta \in \Theta \subset \mathcal{R}^m$  – составной вектор всех параметров смеси, образованный из независимых элементов матриц  $\{B_l\}$ ,  $\{\Sigma_l\}$  и априорных вероятностей  $\{\pi_l\}$  ( $l \in S(L)$ );  $p(x, z, \theta_l) \equiv n_N(x | B_l z, \Sigma_l)$  ( $x \in \mathcal{R}^N$ ) – условная плотность нормального распределения для заданного значения  $z \in Z$ ;  $\theta_l$  – составной вектор параметров модели для класса  $\Omega_l$ .

Имеют место следующие задачи кластерного анализа смеси (2) по неклассифицированной обучающей выборке  $\{X, Z\}$ :

- 1) статистическое оценивание вектора параметров  $\theta \in \Theta \subset \mathcal{R}^m$  (вычисление оценок максимального правдоподобия  $\{\pi_l\}, \{B_l\}, \{\Sigma_l\}$  ( $l \in S(L)$ );
- 2) классификации, обучающей выборки  $\{X, Z\}$ , т.е. оценивание вектора классификации выборки  $d = (d_t) \in S^T(L)$ .
- 3) классификация вновь поступающих наблюдений  $(x_\tau, z_\tau)$  ( $\tau = T + 1, \dots, T + n, n \geq 1$ ).

### АЛГОРИТМ КРЕДИТНОГО СКОРИНГА

Для решения задач 1, 2 предлагается итерационный алгоритм расщепления смеси распределений регрессионных наблюдений (2) из класса ЕМ-алгоритмов, позволяющий одновременно вычислять оценки максимального правдоподобия параметров  $\{\hat{\pi}_l\}, \{\hat{B}_l\}, \{\hat{\Sigma}_l\}$ , а также апостериорные вероятности классов. Решающее правило классификации на основе данного алгоритма эквивалентно решающему правилу по максимуму апостериорной вероятности классов вида:

$$d_t^{(k)} = \operatorname{argmax} \left\{ p^{(k)}(l | x_t, z_t, \theta) \right\} \text{ по } l \in S, \quad (3)$$

где  $\left\{ p^{(k)}(l | x_t, z_t, \theta) \right\}$  ( $l \in S(L)$ ) – апостериорная вероятность отнесения регрессионного наблюдения  $(x_t, z_t)$  к классу  $\Omega_l$  на итерации  $k$  ( $1 \leq k \leq K$ ), определяемая по формуле:

$$p^{(k)}(l | x_t, z_t, \theta^{(k-1)}) = \frac{\pi_l^{(k-1)} p_l(x_t, z_t | \theta_l^{(k-1)})}{p_\pi(x_t, z_t, \theta^{(k-1)})},$$

где  $\theta^{(0)}$ ,  $\{\theta_l^{(0)}\}$  – заданные начальные значения векторов параметров.

При использовании в (3) известных значений параметров получаем решающее правило, эквивалентное байесовскому решающему правилу (БРП).

Получим представления для оценок максимального правдоподобия параметров смеси распределений регрессионных наблюдений (2), зависящие от апостериорных вероятностей.  $\{p^{(k)}(l | x_t, z_t, \theta)\}$  ( $l \in S(L)$ ) отношения регрессионного наблюдения  $(x_t, z_t)$  к классу  $\Omega_l$ .

**Теорема.** В условиях описываемой выше модели наблюдения оценки максимального правдоподобия (МП-оценки)  $\{\hat{\pi}_l\}, \{\hat{B}_l\}, \{\hat{\Sigma}_l\}$   $l \in S(L)$ , параметров смеси (2) по неклассифицированной выборке регрессионных наблюдений  $X = \{x_1, \dots, x_N\}$ ,  $Z = \{z_1, \dots, z_N\}$  из классов  $\{\Omega_l\}$ , допускают представления:

$$\hat{B}_l = \sum_{t=1}^T x_t z_t' p(l | x_t, z_t, \theta) \left( \sum_{i=1}^T z_i z_i' p(l | x_i, z_i, \theta) \right)^{-1},$$

$$\hat{\Sigma}_l = \frac{\sum_{t=1}^T p(l | x_t, z_t, \theta) (x_t - \hat{B}_l z_t)(x_t - \hat{B}_l z_t)'}{\sum_{i=1}^T p(l | x_i, z_i, \theta)}, \quad \hat{\pi}_l = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T p(l | x_t, z_t, \theta).$$

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ

В таблице 1 и таблице 2 для алгоритма кластерного анализа приводятся оценки следующих характеристик:  $P^L$  и  $P^E$  – безусловная вероятность ошибки при классификации обучающей (learning) и экзаменационной (examine) выборки;  $P^{БРП}$  – риск байесовского решающего правила в условиях полной априорной информации.

**Тестовый пример 1.** В данном эксперименте для моделирования данных использовались значения параметров:  $L = 2$ ,  $N = 2$ ,  $M = 3$ ,

$$n_1 = n_2 = 1000, \quad \Sigma = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 5 \end{pmatrix}, \quad B_0 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 0 & 3 \end{pmatrix}.$$

Полагалось, что  $B_1 = B_2 + H$ , где  $H$  – фиксированная матрица, определяющая расстояние Махаланобиса  $\Delta(z)$  между классами, характеризующее степень разделимости классов

$$\Delta^2(z_0) = z_0^T H^T \Sigma^{-1} H z_0, \quad z_0 = (0.5; 0.5; 0.5).$$

Результаты экспериментов представлены в таблице 1. Как и следовало ожидать, при уменьшении межклассового расстояния вероятности ошибочной классификации увеличиваются, при этом точность классификации обучающей и новой экзаменационной выборки практически идентична и заметно уступают при большом межклассовом расстоянии точности БРП.

Таблица 1

Результаты анализа точности классификации

$\Delta$	$P^L$	$P^E$	$P^{БРП}$
6	6,15%	6,8%	0,1%
4	11,75%	12,45%	2,2%
2,5	14,5%	14,15%	10,6%
1	47,65%	47,95%	30,85%
0	42,8%	42,6%	50%

**Тестовый пример 2.** Целью данного эксперимента было выяснения влияние точности задания начальной классификации обучающей выборки на итоговую классификацию. В качестве начальных значений вектора классификации  $d = (d_i) \in S(L)^T$  использовались векторы, полученные из истинного вектора классификации внесением 5%, 10%, 30% ошибок. Актуальность данной проблемы отмечалась в [3].

На основе приведенных в таблице 2 результатов можно сделать вывод, что увеличение доли ошибок во входных данных приводит к существенному увеличению безусловной вероятности ошибки.

Таблица 2

Влияние входного вектора классификации на итоговую классификацию

$\Delta$	Доля ошибок 5%		Доля ошибок 10%		Доля ошибок 30%		$P^{БРП}$
	$P^L$	$P^E$	$P^L$	$P^E$	$P^L$	$P^E$	
6	7,25%	7,9%	7,5%	7,75%	8,9%	8,6%	0,1%
4	13,05%	13,35%	13,05%	14,3%	13,2%	13,45%	2,2%
2,5	16,1%	16,7%	16,5%	16,95%	17,55%	18%	10,6%
1	48,1%	48%	47,65%	47,95%	48,2%	48,15%	30,85%
0	43,75%	43,15%	46,8%	46,6%	47,8%	48,55%	50%

## Литература

1. Гринь Н.В., Малюгин В.И. Исследование точности методов классификации многомерных данных в задачах кредитного скоринга / Н.В. Гринь, В.И. Малюгин // Вестник ГрГУ. Сер.2. 2008. №1. С. 77–85.

2. *Thomas, L.C.* A survey of credit and behavioural scoring: forecasting financial risk of lending to consumers / L. C. Thomas // *International Journal of Forecasting*. 2000. V. 6. P. 49–172.
3. *Малюгин В.И.* Исследование эффективности алгоритмов классификации заемщиков банков на основе балансовых коэффициентов / В.И. Малюгин, О.И. Корчагин, Н.В. Гринь // *Банковский Вестник* № 4 2009. С. 27–32.

## **РАЗРАБОТКА ТЕСТОВ КОНТРОЛЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ НА ВЕРХНИХ УРОВНЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**А. В. Ильинкова**

Анализируется состояние проблемы контроля сверхбольших интегральных схем (СБИС). Рассматриваются задачи направленного построения тестов контроля по поведенческому описанию объекта на уровне межрегистровых передач (RTL) на языке VHDL. Класс функциональных неисправностей, рассматриваемых при направленном построении теста, соответствует неисправностям константного типа реализаций СБИС на элементах соответствующих библиотек проектирования. Предлагается метод направленного построения теста, который позволяет на ранних этапах проектирования анализировать контролепригодность проекта и ее зависимость от применяемых технологических библиотек проектирования.

Требования к надежности цифровых систем постоянно возрастают не только в областях, в которых отказ может привести к катастрофическим событиям, но и во всех других применениях. Одной из самых важных компонентов систем обеспечения высокой надежности электронных систем является способность определить наличие или отсутствие ошибки функционирования системы. Проблема построения тестов на всем интервале развития интегральной схемотехники является одной из наукоемких проблем, которые до настоящего времени не получили эффективного теоретического и практического решения. Задача построения тестов принадлежит к классу NP-трудных проблем. В связи с высокой сложностью построения тестов контроля и диагностирования функционально-сложных цифровых систем применяются методы контролепригодного проектирования, которые направлены на снижение сложности задачи. В то же время проблема построения тестов остается высоко актуальной, так как все используемые подходы к проектированию не решают по разным причинам задачу контроля цифровых систем.

Тесты необходимы на всех этапах жизненного цикла цифровой системы. Актуальность тестов обусловлена потребностью в тестах на этапе проектирования для анализа корректности проектов на всех этапах про-

ектирования, так как методы формальной верификации не достигли уровня практического применения. На этапе производства тесты необходимы для контроля исправности готовых изделий, на этапе эксплуатации для подтверждения исправности, работоспособности или правильного функционирования устройства. На каждом из этапов жизненного цикла изделия необходимо контролировать объект с учетом моделей неисправностей, соответствующих физическим дефектам, возникающим в связи с рядом конструктивно-технологических факторов и дестабилизирующим воздействием внешней среды.

Основная цель работы - построение тестов контроля цифровых систем на верхних уровнях проектирования для своевременной оценки степени контролепригодности проекта, реализованного в разных технологических библиотеках и сокращения сроков проектирования объекта.

## **ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ**

1. Выбор математической платформы для разработки программной модели объекта, представленного в виде описания поведения или RTL на языке VHDL.

2. Направленное построение теста контроля цифровой системы в целом в классе неисправностей, свойственных физическому объекту.

3. Построение тестов функциональных блоков на основе моделирования и символьных вычислений.

Решение данной задачи в указанной постановке позволяет, во-первых, уменьшить размерность сложной наукоемкой задачи, во-вторых, на ранних этапах в динамике анализировать качество проекта с точки зрения его контролепригодности, в-третьих, оценить контролепригодность проекта применительно к разным технологическим библиотекам на ранних этапах проектирования.

Как математическую платформу для построения поведенческой модели цифровой системы, представленной в виде управляющей и операционной частей, используем DD (диаграмма принятия решений) потоков данных и DD потока управления, которые строятся на основе VHDL - описания объекта. Программный код такого описания содержит операторы языка VHDL, составляющие его синтезируемое подмножество.

Пути данных распространяются через функциональные блоки, которые могут представлять собой комбинационные или последовательностные схемы. При описании системы каждая выходная и внутренняя переменная описывается в виде DD потока данных. Нетерминальные вершины DD потока данных содержат значения сигналов управления, а оконечные, терминальные, узлы описывают соответствующие данные, т.е.



состояния первичных входов, регистров, операции, константы. Управляющая часть описывается конечным автоматом, таблица переходов которого описывается единственной DD. Нетерминальные узлы представляют текущее состояние и входные условия (состояния) управляющей части, а терминальные – следующие логические состояния, которые управляют распространением и обработкой информации в системе.

Описание объекта на языке VHDL на RTL-уровне не несет информации о структурном наполнении объекта, тем не менее, на этапе структурного синтеза каждый фрагмент описания будет реализован в виде некоторой структуры в заданном элементном базисе.

Рассмотрим задачу построения теста в следующей постановке. Цифровая система представлена на RTL-уровне или уровне описания поведения. Структурная реализация системы отсутствует, но известны технологические библиотеки элементов, которые доступны на этапе его синтеза. Необходимо построить тест контроля объекта, при этом функциональные модели рассматриваемых неисправностей должны соответствовать моделям неисправностей константного типа, свойственных реальному физическому объекту. Исходными данными для решения задачи является VHDL –описание объекта. По данному описанию необходимо построить DD потоков данных и DD потока управления, которые затем необходимо перевести в множество предикатов изменения состояния системы, и затем с использованием предикатов будут определяться ограничения при активизации и распространении неисправностей.

#### **ОБЩИЙ АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ТЕСТА:**

1. VHDL-описанию объекта строим DD потоков данных и DD потока управления (используется синтезируемое подмножество языка VHDL).
2. Выбираем очередной оператор программного кода.
3. Выбираем очередную функциональную неисправность оператора.
4. Извлекаем функциональные ограничения для очувствления данной неисправности.
5. Извлекаем функциональные ограничения для распространения эффекта неисправности к выходам системы.
6. Выполняем разрешение ограничений.
7. Если ограничения удовлетворены, то сравниваем реакции системы по выполнению программного VHDL - кода с исходным оператором и с оператором-мутантом. Если реакции различные, то фиксируем найденный тест контроля определенной группы неисправностей.
8. В противном случае, переходим к п.3 или к п. 2, или на выход при окончании процесса или по времени.

Предложенный метод основан на построении моделей функциональных неисправностей элементов программного кода. В работе исследуются известные подходы к построению функциональных неисправностей, предлагается методика построения функциональных неисправностей по структурному представлению механизмов реализации операторов, что представлено схематично на рисунке, где показано соответствие между ошибкой оператора if-then-else (функциональной неисправностью моделируемой системы) и неисправностью константного типа некоторого «механизма» его структурной реализации.

Figure 1 illustrates the synthesis of a control algorithm. It consists of three parts: (a) the original algorithm, (b) its logic circuit implementation, and (c) an optimized version of the algorithm.

(a) Original algorithm:

```

Y <= C and D
if Y = '0' then
  Z <= X1;
else Z <= X2;
endif;
Z <= Z + B;
A <= Z * A;

```

(b) Logic circuit diagram. The circuit implements the logic of the algorithm. Inputs are  $X1$ ,  $X2$ ,  $Y$ , and a constant  $0$ . The circuit includes inverters ( $M1$ ), AND gates ( $M2$ ,  $M3$ ), and an OR gate. The output  $Z$  is calculated as  $Z = X2 \wedge Y$ .

(c) Optimized algorithm:

```

if Y = '0' then
  Z <= 0;
else Z <= X2;
end if

```

An arrow points from the 'else' branch of the optimized algorithm to the logic circuit in (b), indicating that the circuit implements the 'else' branch logic.

1. *Золоторевич Л. А.* Построение тестов контроля цифровых систем на уровне межрегистровых передач // Л.А. Золоторевич, А.В. Ильинкова // Информатика. 2010. №1. С. 112–121.
2. *Золоторевич Л. А.* Разработка тестов для анализа контролепригодности СБИС на верхних уровнях проектирования // Л.А. Золоторевич, А.В. Ильинкова // Автоматика и телемеханика. 2010. В печати.

3. *Золоторевич Л.А.* Экспериментальное исследование базовых методов моделирования в системе ModelSim / Л.А. Золоторевич, А.В. Ильинкова // The International Conference Computer– Aided Design of Diskrete Devices (CAD-DD'07). Vol.1. Minsk. 2007. P. 245–251.
4. *Золоторевич Л.А.* Анализ полноты тестов контроля цифровых устройств на основе решения задачи выполнимости // Л.А. Золоторевич, А.В. Ильинкова // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Современная радиоэлектроника: научные исследования и подготовка кадров». Минск, 23–24 апреля 2008. С. 25–27.
5. *Золоторевич Л.А.* Анализ тестов контроля цифровых устройств по отрицательной нормальной форме реализуемой функции // Л.А. Золоторевич, А.В. Ильинкова // The Fifth International Scientific Conference «Information technologies in industry» ITI\* 2008. P. 107–108.
- Ibarra O. H., Sahni S.* Polynomially Complete Fault Detection Problems // IEEE Transactions on Computers. 1975. V. C. 24. No. 3. P. 242–249.
7. *Murray B. T., Hayes J. P.* Hierarchical Test Generation Using Precomputed Tests for Modules // International Test Conference. 1988. P. 221–229.
8. *Ubar R.* Test Synthesis with Alternative Graphs // IEEE Design and Test of Computers. 1996. V. 13. No. 1. P. 48–57.
9. *Jervan G., Peng Z., Ubar R.* Test Cost Minimization for Hybrid BIST // IEEE Int. Symp. on Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems (DFT'00). 2000. P. 283–291.
10. *Roth J.P.* Diagnosis of automata failures: a calculus and a method // IEEE Trans. on Computers. 1966. V. 15. No. 7. P. 278–291.

## ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ОДНОГО ПАРАРЕАЛЬНОГО АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ОДУ

**В. А. Карпейчик**

В настоящее время особенно актуальным становится вопрос наличия алгоритмов, способных выполняться параллельно несколькими вычислительными модулями, так как при исполнении последовательного алгоритма на вычислительной системе, использующей несколько вычислительных модулей, вычисления будут производиться только на одном из них. Важной проблемой при моделировании и решении сложных задач является решение дифференциальных уравнений и их систем. В данной работе проведено численное исследование одного парареального метода решения систем ОДУ, впервые представленного в 2001 году Габриэлем Туриничи и Айвоном Мэдзем[1]. Парареальным они называют алгоритм решения исходной задачи, позволяющий производить параллельные вычисления на отрезках временной оси дифференциальной задачи.

Пусть имеем дифференциальную задачу

$$\begin{aligned} u'(t) &= f(u(t)), \\ u(T_0) &= u^0, \end{aligned} \tag{1}$$

где  $t \in [T_0, T] = \Omega$ ,  $u \in \Omega \rightarrow R^n$ ,  $f \in R^n \rightarrow R^n$ .

Для построения парареального алгоритма разобьем  $\Omega$  на  $N$  отрезков  $\Omega_n = [T_n, T_{n+1}]$ , где  $n = 0, 1, \dots, N-1$  и решаем на каждом  $\Omega_n$  задачу[2]

$$\begin{aligned} u_n'(t) &= f(u_n(t)), \\ u_n(t) &= U_n, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $t \in \Omega_n$ , а значения  $U_0, \dots, U_n$  должны выбираться так, чтобы  $u_i(T_{i+1}) = u_{i+1}(T_{i+1}), i = 0, \overline{N-2}$ .

То есть  $U_n$  должны удовлетворять системе уравнений

$$\begin{aligned} U_0 &= u^0, \\ U_n &= \varphi_{\Omega_{n-1}}(U_{n-1}), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $n = 0, 1, \dots, N-1$ ,  $\varphi_{\Omega_{n-1}}(U_{n-1})$  – это точное решение задачи вида (2) на отрезке  $\Omega_{n-1}$  с начальным условием равным  $U_{n-1}$ . Тогда систему (3) можно переписать в виде:

$$\begin{aligned} U_0 - u^0 &= 0, \\ U_1 - \varphi_{\Omega_0}(U_0) &= 0, \\ U_{N-1} - \varphi_{\Omega_{N-2}}(U_{N-2}) &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Система (4) позволяет определить необходимые значения  $U_n$  для каждого из отрезков  $\Omega_n$ . Решать ее можно, например, при помощи модифицированного метода Ньютона. Тогда запишем:

$$\begin{aligned} U_0^k &= u^0, k = 0, 1, \dots, \\ U_n^{k+1} &= \varphi_{\Omega_{n-1}}(U_{n-1}^k) + \varphi_{\Omega_{n-1}}'(U_{n-1}^k)(U_{n-1}^{k+1} - U_{n-1}^k), \\ k &= 0, 1, \dots; n = 1, \dots, N-1. \end{aligned} \quad (5)$$

Теперь, пусть  $F(T_{n-1}, T_n, U_{n-1})$  – приближенное решение к  $\varphi_{\Omega_{n-1}}(U_{n-1})$  порядка  $p_0$ , а  $G(T_{n-1}, T_n, U_{n-1})$  – приближенное решение к  $\varphi_{\Omega_{n-1}}'(U_{n-1})$  порядка  $p_1$ , причем  $p_0 > p_1$ . Тогда справедливо[2]

$$\begin{aligned} \varphi_{\Omega_{n-1}}(U_{n-1}^k) &\approx F(T_{n-1}, T_n, U_{n-1}^k), \\ \varphi_{\Omega_{n-1}}'(U_{n-1}^k)(U_{n-1}^{k+1} - U_{n-1}^k) &\approx G(T_{n-1}, T_n, U_{n-1}^{k+1}) - G(T_{n-1}, T_n, U_{n-1}^k). \end{aligned}$$

Тогда из (5) можно записать парареальный алгоритм решения исходной задачи:

$$U_0^{k+1} = u^0,$$

$$U_n^{k+1} = F(T_{n-1}, T_n, U_{n-1}^k) + G(T_{n-1}, T_n, U_{n-1}^{k+1}) - G(T_{n-1}, T_n, U_{n-1}^k),$$

$$k = 0, 1, \dots; n = 1, \dots, N-1,$$

где  $U_n^0 = G(T_n, T_{n-1}, U_{n-1}^0)$ .

Представим общий вид параллельного алгоритма при исполнении на N процессорах[1].

$$U_0^0 \leftarrow u^0$$

for i=0:N-1 do

$$U_{i+1}^0 \leftarrow G(T_i, T_{i+1}, U_i^0)$$

end for

Разбиваем  $\Omega$  на N отрезков и вычисляем  $F(T_n, T_{n+1}, U_{n-1}^0)$  параллельно на N процессорах, по одному отрезку на процессор.

$$k \leftarrow 0$$

while true do

$$U_0^{k+1} \leftarrow U_0^k$$

for i=0:N-1 do

вычисляем  $G(T_i, T_{i+1}, U_i^{k+1})$

$$U_{i+1}^{k+1} = F(T_i, T_{i+1}, U_i^k) + G(T_i, T_{i+1}, U_i^{k+1}) - G(T_i, T_{i+1}, U_i^k)$$

end for

if сходимость

выход

end if

Вычисляем  $F(T_n, T_{n+1}, U_{n-1}^{k+1})$  параллельно на N процессорах, по одному отрезку на процессор.

$$k \leftarrow k + 1$$

end while

Для проверки эффективности алгоритма были проведены тесты на задаче нахождения орбиты Аренсторфа, которая представляет собой замкнутую кривую. Всего было произведено две серии тестов, первая – для достижения одинаковой точности. Вторая – тесты с одинаковым шагом сетки.

Все тесты производились на компьютере с двухъядерном процессоре Intel Core 2 Duo с тактовой частотой каждого ядра 2 ГГц и оперативной памятью 4 Гб.

В тестах сравнивались:

- последовательный алгоритм метода Рунге-Кутты 4-го порядка аппроксимации;

- парареальный алгоритм при запуске на одном ядре процессора;

- парареальный алгоритм при запуске на 2-х ядрах процессора.

Первая серия – тесты на достижение одинаковой точности. В таблице показана зависимость времени выполнения в секундах от количества витков вычисляемого решения.

Таблица

Алгоритм	1	2	3	4
Р-К 4	0.2	1.11	6.83	38.96
Парареальный на 1 ядре	0.39	1.37	8.63	18.02
Парареальный на 2 ядрах	0.29	1.15	6.42	9.83

Вторая серия – тесты с одинаковым шагом сетки  $h=0.0003$ . Ниже на рисунках приводятся результаты такого тестирования (точное решение показано прерывистой линией):

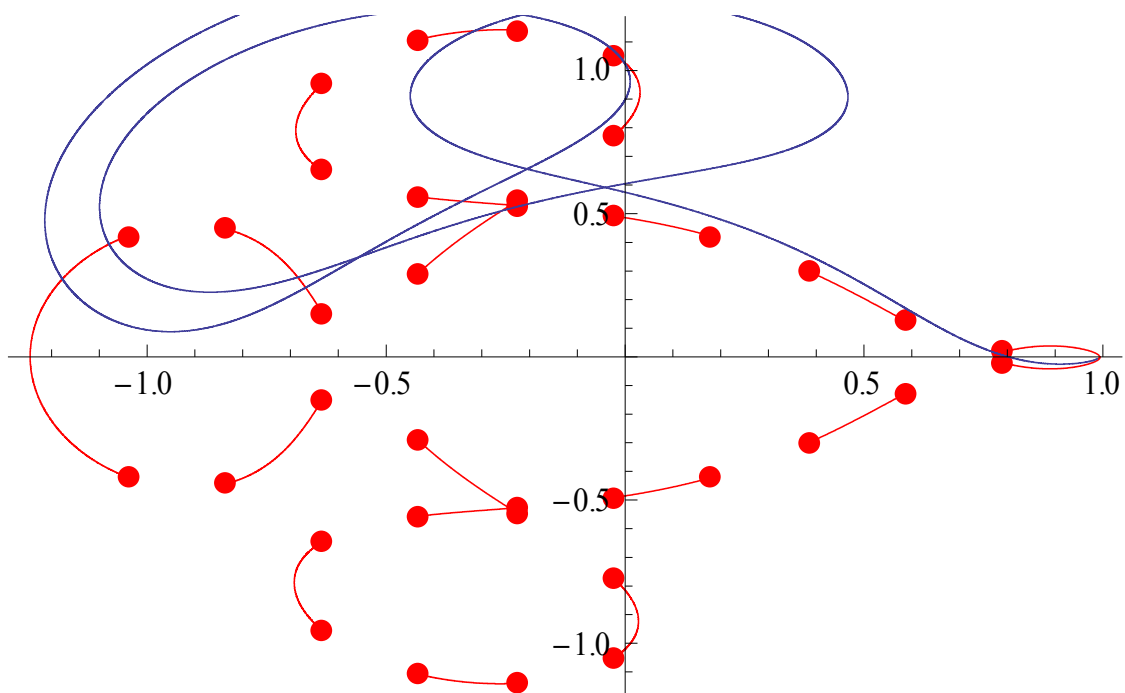


Рис. 1. Решение методом Рунге-Кутты 4-го порядка точности, количество витков – 3, время выполнения – 6.352 сек.

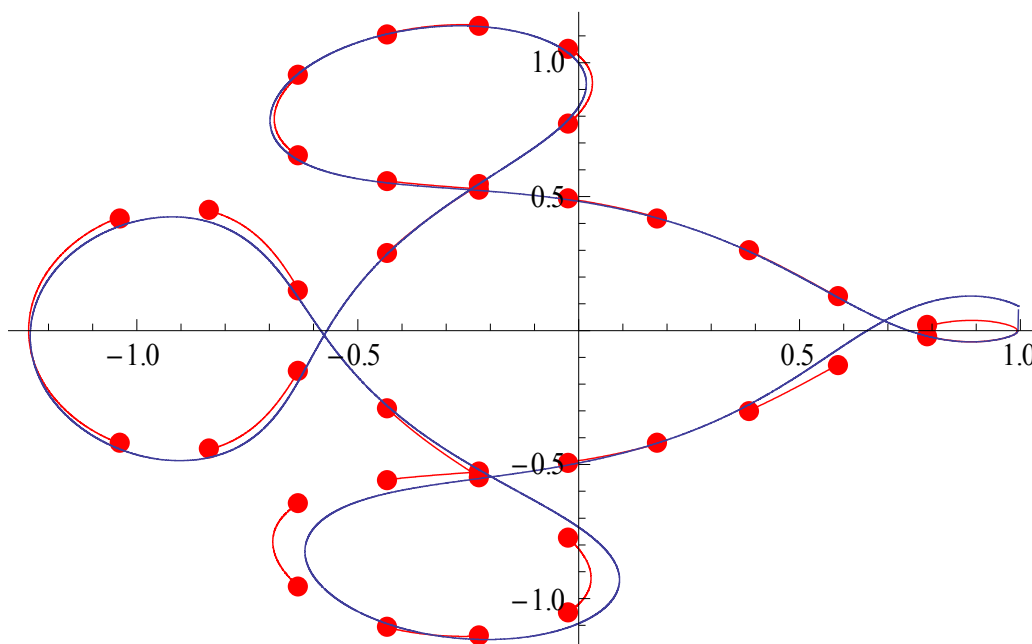


Рис. 2. Решение парареальным алгоритмом, количество витков – 4.  
Время выполнения: на одном ядре – 10.36 сек, на двух ядрах – 6.504 сек

Полученные результаты сравнения работы разных алгоритмов показали, что парареальный алгоритм ведет себя эффективнее, чем классический метод Рунге-Кутты 4-го порядка точности.

Во второй серии тестов примечательным является результат, полученный при вычислении с шагом сетки 0.0003, когда метод Рунге-Кутты 4-го порядка аппроксимации смог проделать только два витка, с сильной погрешностью в самом начале 3-его, а парареальный алгоритм почти закончил четвертый виток.

При этом необходимо отметить относительно невысокую скорость работы парареального алгоритма на сетке малой размерности. Это можно объяснить тем, что время тратится на инициализацию потоков, которые при малом количестве вычисляемых шагов излишни.

### Литература

1. *Gunnar A. Staff and E.M. Rønquist* Stability of the parareal algorithm, Proceedings of the 15th International Conference on Domain Decomposition Methods (Berlin 2003). // Lecture Notes in Computational Science and Engineering. Vol. 40. Springer. 2004.
2. *M.J. Gander and E. Hairer* Nonlinear Convergence Analysis for the Parareal Algorithm. // Proceedings of the 17th International Conference on Domain Decomposition Methods. 2007.

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОЦЕНОК ХВОСТОВОГО ИНДЕКСА МЕТОДАМИ М.Б.ХИЛЛА И DPR УСТОЙЧИВЫХ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН

И. И. Комаров

В последние годы возрос интерес к задачам, в которых исходные данные могут быть описаны с помощью тяжёло-хвостовых распределений.

К тяжёло-хвостовым распределениям могут быть отнесены те распределения, хвост которых убывает на бесконечности медленнее, чем экспоненциальный хвост. Такие распределения могут не иметь конечного момента второго порядка и даже момента первого порядка и это в частности определяет специфику исследования.

Одной из важных характеристик при исследовании тяжёло-хвостовых данных является хвостовой индекс. С помощью него можно определить наличие в данных тяжёлых хвостов, а также количество конечных моментов.

Известны многочисленные оценки хвостового индекса: оценка Хилла [1], оценка отношения Goldie [2], УН-оценка Berlnet [3], момент-оценки Dekkers, Einmalh, de Naan [4], DPR оценка [5] и др.

**Определение 1**[6]. Случайная величина  $X$  будет устойчивой тогда и только тогда, когда логарифм ее характеристической функции  $\varphi_X(t)$ ,  $t \in R$  представим в виде:

$$\ln \varphi_X(t) = i\mu t - \sigma^\alpha |t|^\alpha + i\sigma^\alpha t \omega(t, \alpha, \beta), \quad (1)$$

$$\omega(t, \alpha, \beta) = \begin{cases} |t|^{\alpha-1} \beta \operatorname{tg}(\pi\alpha/2), & \alpha \neq 1, \\ -2\beta \ln |t| / \pi, & \alpha = 1, \end{cases}$$

где  $\alpha \in (0; 2]$ ,  $\beta \in [-1; 1]$ ,  $\sigma > 0$ ,  $\mu \in R$ .

Из представления (1) видно, что класс устойчивых случайных величин представляет собой четырехпараметрическое семейство с параметрами  $\alpha, \beta, \sigma, \mu$ . Если характеристическая функция случайной величины  $X$  удовлетворяет (1), то будем писать  $X \sim S_\alpha(\beta, \sigma, \mu)$ .

**Определение 2.** Параметр  $\gamma = 1/\alpha$ , где  $\alpha$  хвостовой индекс, называется индексом экстремального значения (extreme value index, EVI) и определяет форму хвоста распределения случайной величины  $X$  [7].

Оценим хвостовой индекс, применив различные подходы в его оценивании для устойчивых случайных величин, и проведём сравнительный анализ полученных оценок.



## МЕТОД ХИЛЛА

Предположим, что  $X_1, X_2, \dots, X_n$  выборка наблюдений за  $\alpha$ -устойчивой случайной величиной  $X$ ,  $n \in N$  и пусть

$$X_{(1)} \geq X_{(2)} \geq \dots \geq X_{(n)}.$$

Оценка Хилла основана на  $k+1$  верхней статистике, определяется как

$$H_{k,n} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\ln X_{(i)} - \ln X_{(k+1)}), \quad (2)$$

$k \in [2; n/2]$  и является состоятельной.

Так как  $X_1, X_2, \dots, X_n$ ,  $n \in N$  независимые наблюдения, то оценка Хилла  $H_{k,n}$  состоятельна для параметра  $\gamma = \alpha^{-1}$ , в следующем смысле: существует последовательность  $k$ ,  $k \rightarrow \infty$ ,  $k/n \rightarrow 0$ , при  $n \rightarrow \infty$ , такая что

$$H_{k,n} \xrightarrow{p} \gamma. \quad (3)$$

Таким образом, найдя оценку Хилла, можно оценить хвостовой индекс  $\alpha$ . Однако на практике очень сложно подобрать значение  $k$ . Один из способов оценки  $\gamma$  состоит в построении графика  $\{H_{k,n}(k) : k = 2, \dots, n/2\}$ . На графике выделяется интервал, на котором функция  $\{H_{k,n}(k)\}$  ведёт себя стабильно. И в качестве оценки EVI выбирается среднее значение всех значений  $\{H_{k,n}(k)\}$  на данном интервале.

## DPR МЕТОД

Пусть  $X_1, X_2, \dots, X_n$  выборка наблюдений за  $\alpha$ -устойчивой случайной величиной  $X$ ,  $n \in N$ . Yu. Davydov, V. Paulauskas, A. Rackauskas [5] предложили рассматривать оценку, которая использует независимые отношения вторых наибольших порядковых статистик к наибольшим порядковым статистикам в подгруппах наблюдений.

Согласно этой оценке выборка делится на  $l$  групп  $V_1, \dots, V_l$ , каждая из которых содержит  $m$  случайных величин, т.е.  $n = l \cdot m$ . На практике выбирается  $m$  и  $l = \lfloor n/m \rfloor$ , где  $\lfloor \cdot \rfloor$  обозначает целую часть числа.

Пусть

$$M_{li}^{(1)} = \max_{j=1,m} \{X_j : X_j \in V_i\}, \quad i = \overline{1, l},$$

и  $M_{li}^{(2)}$  - второй наибольший элемент в той же группе  $V_i$ . Обозначим

$$k_{li} = \frac{M_{li}^{(2)}}{M_{li}^{(1)}},$$

$$z_l = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l k_{li}.$$

Пусть функция распределения  $F(x)$  удовлетворяет, при  $x \rightarrow \infty$ , следующему условию

$$1 - F(x) \sim Cx^{-\alpha},$$

с параметром  $0 < \alpha < \infty$ ,  $C = \text{const}$ .

Yu. Davydov, V. Paulauskas, A. Rackauskas в [5] доказали, что для  $l=m=[\sqrt{n}]$

$$z_l \xrightarrow{n.n.} \frac{\alpha}{1+\alpha}. \quad (4)$$

Тогда найдём оценку  $\alpha$  как

$$\hat{\alpha} = \frac{z_l}{1-z_l}. \quad (5)$$

Смоделируем устойчивые величины с различными параметрами  $\alpha$   $X \sim S_{1,3}(0,1,0)$  и  $X \sim S_{1,95}(0,1,0)$  и оценим параметр  $\alpha$  описанными методами

Таблица 1

Оценка  $\alpha$  для  $X \sim S_{l,3}(0,1,0)$  DPR методом для различных  $n$  и  $m$ .

$\begin{matrix} m \\ n \end{matrix}$	10	20	30	40	70	80	90	100
400	1,24	<b>1,30</b>	0,94	0,95	1,17	0,85	0,68	0,63
900	0,94	1,24	<b>1,30</b>	1,04	1,05	1,13	1,42	1,14
1600	1,09	1,45	1,29	<b>1,32</b>	1,05	1,00	0,91	0,81
4900	1,05	1,18	1,35	1,35	<b>1,31</b>	1,15	1,38	1,31
6400	1,09	1,38	1,23	1,36	1,29	<b>1,31</b>	1,23	1,23

Таблица 2

Оценка  $\alpha$  для  $X \sim S_{l,95}(0,1,0)$  DPR методом для различных  $n$  и  $m$ .

$\begin{matrix} m \\ n \end{matrix}$	10	20	30	40	70	80	90	100
400	1,70	<b>1,94</b>	2,25	2,98	6,57	4,61	1,21	3,58
900	2,30	2,60	<b>2,50</b>	2,43	2,00	1,85	2,41	2,25
1600	2,01	2,67	3,31	<b>2,80</b>	3,28	3,77	3,72	3,43
4900	1,81	2,86	3,33	3,77	<b>4,62</b>	4,89	4,50	4,72
6400	1,85	3,12	3,56	3,96	3,61	<b>3,78</b>	3,70	3,78

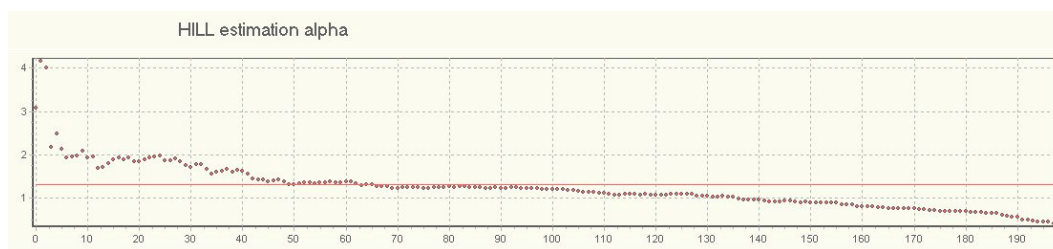


Рис 1. Поведение хвостового индекса для  $X \sim S_{I,3}(0,1,0)$  при  $n=400$

Из Рис 1. мы можем оценить параметр  $\alpha$ ,  $\hat{\alpha} = 1,303$ .

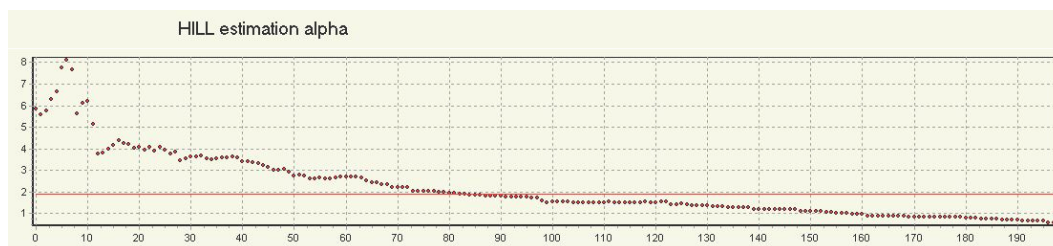


Рис 2. Поведение хвостового индекса для  $X \sim S_{I,95}(0,1,0)$  при  $n=400$

Из таблиц 1 и 2, а также Рис 1. и Рис 2. видно, что описанные методы хорошо применять для оценки хвостового индекса устойчивой случайной величины, в случае если  $0 < \alpha < 1,5$ . В случае если  $1,5 < \alpha < 2$  оценивание истинного значения хвостового индекса  $\alpha$  достаточно затруднительно.

### Литература

1. Hill B.M. A simple general approach to inference about the tail of a distribution.// The Annals of Statistics. V. 5. №3. 1975. P. 1011–1029.
2. Goldie C.M., Smith R.L. Slow variation with reainder: theory and applications.// Quart.J.Math. Oxford. 38. 1987. P. 45–71.
3. Berline A., Vajda I., van der Maulen E. C. About tne asymptotic accuracy of Barron density estemates.// IEEE Trans. Inf. Theory. № 44. 1998. P. 999–1009
4. Dekkers A.L.M., Einmahl J.H.J., de Haan L. A moment estimator for the index of an extreme-value distribution.// Annals of Statistics 17 1989. P. 1833–1855.
5. Davydov Yu., Paulauskas V., Rackauskas A. More on P-stable convex sets in Banach spaces// J.Theoret. Probab. 13. no.1. P. 39–64. 2000.
6. Zolotarev V., Uchaikin V. Stable Distributions and their Applications. M.: 1999.
7. Ширяев А. Н. Вероятность // Наука М.. 1980. С. 576.

## ГЛОБАЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ И РАЗРУШЕНИЕ РАЗНОСТНЫХ СХЕМ ДЛЯ ПОЛУЛИНЕЙНЫХ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

А. П. Кондратюк

### 1. ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В прямоугольнике  $\bar{Q}_T = \{(x, t) : 0 \leq x \leq l, \quad 0 \leq t \leq T_{кр}\}$  рассмотрим смешанную задачу для полулинейного параболического уравнения с нелинейным источником  $Q(u) = \lambda u^2$  квадратичного типа

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k(x) \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \lambda u^2, \quad (x, t) \in Q_T, \quad (1)$$

$$u(x, 0) = u_0(x), \quad u(0, t) = 0, \quad u(l, t) = 0, \quad (2)$$

$$0 < k_1 \leq k(x) \leq k_2, \quad |u'_0(x)| \leq c_0, \quad (3)$$

где  $k_1, k_2, \lambda$  – положительные постоянные.

Основной целью доклада является доказательство устойчивости линеаризованных разностных схем, аппроксимирующих начально-краевую задачу (1)–(3). Как известно [2, с. 319], [3, с. 276], анализ устойчивости в нелинейном случае основывается на предварительных оценках разностного решения в сильных нормах. В работе показывается, что условие

$$1 - \frac{\lambda l^{5/2}}{16k_1^{3/2}} \|u_0\|_A \geq 0, \quad (4)$$

является достаточным для глобальной (при  $t \rightarrow \infty$ ) ограниченности и устойчивости разностного решения. Причем, если неравенство (4) выполняется строго, то решение затухает в равномерной норме по экспоненциальному закону.

При невыполнении условия на входные данные (4) решение может обращаться в  $\infty$  за конечный промежуток времени. В этом случае соответствующие априорные оценки, полученные на основании использования сеточного аналога леммы Бихари, будут справедливы лишь до некоторого конечного момента времени.

## 2. РАЗНОСТНЫЕ СХЕМЫ

В прямоугольнике  $\bar{Q}_T$  введем равномерную сетку

$$\bar{\omega} = \bar{\omega}_h \times \bar{\omega}_\tau, \quad \bar{\omega}_h = \{x_i = ih, \quad i = \overline{0, N} \quad hN = l\} = \omega_h \cup \{x_0 = 0; \quad x_N = l\},$$

$$\bar{\omega}_\tau = \{t_n = n\tau, \quad n = \overline{0, N_0} \quad \tau N_0 = T_{кр}\} = \omega_\tau \cup \{t_{N_0} = T_{кр}\},$$

с постоянными шагами  $h$  и  $\tau$  соответственно по пространственной и временной переменным. Ниже будут использованы обычные обозначения теории разностных схем [4, с. 11].

На введенной сетке  $\bar{\omega}$  дифференциальную задачу (1) – (3) заменим разностной:

$$y_t + A\hat{y} = \lambda\hat{y}y, \quad a = 0,5(ki-1+ki), \quad (5)$$

$$y(x, 0) = u_0(x), \quad x \in \bar{\omega}_h, \quad \hat{y}_0 = 0, \quad \hat{y}_N = 0. \quad (6)$$

$$Ay = -(ay_{\bar{x}})_x. \quad (7)$$

Для исследования устойчивости разностной схемы рассмотрим соответствующую задачу с возмущенным начальным условием

$$\tilde{y}_t + A\hat{\tilde{y}} = \lambda\hat{\tilde{y}}\tilde{y}, \quad a = 0,5(ki-1+ki), \quad (8)$$

$$\tilde{y}(x, 0) = \tilde{u}_0(x), \quad x \in \bar{\omega}_h, \quad \hat{\tilde{y}}_0 = 0, \quad \hat{\tilde{y}}_N = 0, \quad |\tilde{u}'_0| \leq \tilde{c}_0. \quad (9)$$

Вычитая из уравнений (8), (9) соответственно уравнения (5), (6), получим задачу для возмущения  $\delta y = \tilde{y} - y$ :

$$\delta y_t = A\delta\hat{y} + 0,5\lambda\delta\hat{y}(\tilde{y} + y) + 0,5\lambda\delta y(\hat{y} + \hat{\tilde{y}}) \quad (10)$$

$$\delta y_0^{n+1} = \delta y_N^{n+1} = 0, \quad \delta y(x, 0) = \delta u_0(x) = \tilde{u}_0(x) - u_0(x), \quad (11)$$

из которой видно, что прежде чем доказывать устойчивость, необходимо получить априорные оценки для  $y$  и  $\tilde{y}$  в равномерной норме.

### 3. АПРИОРНЫЕ ОЦЕНКИ РАЗНОСТНЫХ ЗАДАЧ

**Теорема 1.** Для решения разностных схем (5) – (7) и (8),(9) при выполнении условий:

$$1 - \lambda_1 \max \{ \|u_0\|_A, \|\tilde{u}_0\|_A \} \geq \lambda_2, \quad \lambda_1 = \lambda l^{5/2} / (16k_1^{3/2}), \quad \lambda_2 \geq 0, \quad \tau \leq \tau_0, \quad (12)$$

$$\tau_0 = l^2 / (8k_1\lambda_2),$$

имеют место априорные оценки

$$\|y^n\|_A \leq e^{-c_1 t_n} \|y^0\|_A, \quad \|\tilde{y}^n\|_A \leq e^{-c_1 t_n} \|\tilde{y}^0\|_A, \quad c_1 = 4k_1\lambda_2 / l^2 \quad (13)$$

выражающие асимптотическое поведение решений  $y^n$  и  $\tilde{y}^n$  при  $t \rightarrow \infty$ .

**Теорема 2.** При выполнении условий теоремы 1 и условия  $\tau \leq \tau_{01}$ , где

$$\tau_{01} = \frac{\sqrt{k_1}}{2\lambda\sqrt{l}(\|u^0\|_A + \|\tilde{u}^0\|_A)}, \quad \text{разностная схема (5) – (7) является р-}$$

устойчивой и для любого  $n$  имеет место априорная оценка

$$\|\tilde{y}^n - y^n\|_C \leq \rho^n \|\tilde{u}_0 - u_0\|_C, \quad \rho \leq e^{c_{3_n} t_n} \leq M_1, \quad (14)$$

где  $c_{3_n} = 2\lambda(c_{2_n} + 5c_{2_{n+1}}/4)$ ,  $c_{2_n} = \sqrt{l}/(2\sqrt{k_1})(e^{-c_1 t_n} \|\tilde{u}^0\|_A + e^{-c_1 t_n} \|u^0\|_A)$  причем  $M_1 = 1$  при  $t_n \rightarrow \infty$ .

#### 4. СИЛЬНОЕ ИЛИ ГРУБОЕ РАЗРУШЕНИЕ [10, С. 257]

При невыполнении условий на входные данные (12) решение может неограниченно возрастать за конечный момент времени. В этом случае соответствующие априорные оценки, выражающие ограниченность решения и устойчивость могут быть доказаны лишь до некоторого конечного момента времени  $t \leq T_{кр}$ .

Для этого случая получена оценка:  $\|y^n\|_A^2 \leq \|y^0\|_A^2 / (1 - t_n \lambda_3 \|y^0\|_A^2)$ , справедливая для всех  $t_n < T_{кр}$ , где

$$T_{кр} = 1 / (\lambda_3 \|y^0\|_A^2). \quad (15)$$

#### 5. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

В прямоугольнике  $\bar{Q}_T$  с  $l = \pi$  рассмотрим следующую начально-краевую задачу с постоянным коэффициентом диффузии  $k(x) = k = l$ .

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \lambda u^2,$$

$$u(0, t) = u(l, t) = 0; \quad u(x, 0) = \sin x$$

Выберем  $\lambda = 0,7$ , когда выполняются условия теоремы 1. Вычислительный эксперимент показывает физический процесс остывания, что находится в полном соответствии с априорными оценками (13).

При небольшом изменении параметра  $\lambda = 1,18$  условия (12) не выполняются и, как следствие, решение обращается в бесконечность за конечный промежуток времени  $T_{кр} = 4,39$ .

Интересно отметить, что критическое время существования и единственности решения дифференциальной задачи, вычисленное по формуле [1, с. 25] равно:

$$T_* = \int_{E_0}^{\infty} d\eta / (\lambda \eta^2 - \lambda_1 \eta) = \int_{\pi/2}^{\infty} d\eta / (1,18\eta^2 - 1 \cdot \eta) \approx 0,7754,$$

а время разрушения сеточного решения, вычисленное по формуле (15), равно 1,16.

## Литература

1. Самарский, А. А., Галактионов В. А., Курдюмов С. П., Михайлов А. П. Режимы с обострением в задачах для квазилинейных параболических уравнений. // М. Наука. 1987.
2. Matus P. Stability of difference schemes for nonlinear time-depended problems // Comp. Meth. Appl. Math. Vol. 3. N. 2. 2003. P. 313–329.
3. Matus P., Lemeshevsky S. Stability and monotonicity of difference schemes for nonlinear scalar conservation laws and multidimensional quasi-linear parabolic equations // Comp. Meth. Appl. Math. 2009. Vol. 9. N. 3. P. 253–280.
4. Самарский, А. А. Теория разностных схем. // М. Наука. 1977.
5. Похожаев С.И. Об априорных оценках и градиентных катастрофах гладких решений гиперболических систем законов сохранения // Труды математического института им. В.А. Стеклова. Т 243. 2003. С. 257–288.

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ДИСПЕРСИОННОГО ГАММА – ПРОЦЕССА

А. В. Кузьмина

**Определение 1.** Случайная величина  $\mathfrak{Z}$  имеет дисперсионное гамма – распределение, если ее плотность распределения имеет вид

$$f_{\mathfrak{Z}}(x) = \int_0^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi g}} \exp\left(-\frac{(x-\theta g)^2}{2\sigma^2 g}\right) \frac{y^{\frac{1}{v}-1} \exp\left(-\frac{g}{v}\right)}{v^{\frac{1}{v}} \Gamma\left(\frac{1}{v}\right)} dg, \quad x \in \mathbb{R},$$

где  $\Gamma(x)$ ,  $x > 0$  – гамма – функция, а  $\sigma > 0, v > 0, \theta \in \mathbb{R}$ .

Случайную величину  $\mathfrak{Z}$  с дисперсионным гамма – распределением будем обозначать  $\mathfrak{Z} \sim V(\sigma, v, \theta)$ .

**Определение 2.** Случайный процесс  $V = (V_t)_{t \geq 0}$  с параметрами  $\sigma > 0, v > 0, \theta \in \mathbb{R}$ , заданный на вероятностном пространстве  $(\Omega, \mathcal{F}, P)$  со значениями в  $\mathbb{R}$ , называется дисперсионным гамма – процессом, если выполнены следующие условия:

1.  $V_0 = 0$  п.н.
2.  $V$  имеет независимые приращения: для любого  $n \geq 1$  и любого набора точек  $t_j \in [0, \infty)$   $j = \overline{0, n}$  таких, что  $0 \leq t_0 < t_1 < \dots < t_n$ , величины  $V_{t_0}, V_{t_1} - V_{t_0}, \dots, V_{t_n} - V_{t_{n-1}}$  являются независимыми.

3. для любых  $s \geq 0, t \geq 0$   $V$  имеет стационарные с дисперсионным гамма – распределением приращения с параметрами  $\sigma\sqrt{t} > 0, \nu / t > 0, t\theta > 0$ , то есть:

$$V_{t+s} - V_s \stackrel{d}{=} V_t - V_0 \sim V(\sigma\sqrt{t}, \nu / t, t\theta),$$

где  $\stackrel{d}{=}$  обозначает равенство по распределению.

Дисперсионный гамма-процесс  $V = (V_t)_{t \geq 0}$  можно определить двумя способами [3].

Первый состоит в использовании стандартного винеровского процесса  $W = (W_t)_{t \geq 0}$  и гамма-процесса  $G = (G_t)_{t \geq 0}$  с параметрами  $a = 1 / \nu$  и  $b = 1 / \nu$ , а именно  $V_t = \theta G_t + \sigma W_{G_t}$ , где  $W = (W_{G_t})_{t \geq 0}$  – стандартный винеровский процесс в случайные моменты времени  $G_t$ ,  $G = (G_t)_{t \geq 0}$  – гамма-процесс,  $\sigma > 0, \nu > 0, \theta \in \mathbb{R}$ .

Математическое ожидание, дисперсия, асимметрия и эксцесс дисперсионного гамма-процесса  $V = (V_t)_{t \geq 0}$  с параметрами  $\sigma, \nu, \theta$  соответственно равны [3]

$$\begin{aligned} & \theta t, (\sigma^2 + \nu\theta^2)t, \theta\nu(3\sigma^2 + 2\nu\theta^2)/t^{1/2}(\sigma^2 + \nu\theta^2)^{3/2}, \\ & 3\left(1 + 2\nu / t - \nu\theta^4 t(\sigma^2 + \nu\theta^2)^{-2}\right). \end{aligned} \quad (1)$$

Второй способ определения дисперсионного гамма-процесса заключается в представлении  $\bar{V} = (\bar{V}_t)_{t \geq 0}$  как разности двух независимых гамма-процессов  $G^1 = (G_t^1)_{t \geq 0}$  с параметрами  $a, b_1$  и  $G^2 = (G_t^2)_{t \geq 0}$  с параметрами  $a, b_2$ , то есть  $\bar{V}_t = G_t^1 - G_t^2$ .

**Теорема 1.** Параметры  $a, b_1, b_2$  дисперсионного гамма-процесса  $\bar{V} = (\bar{V}_t)_{t \geq 0}$  связаны с параметрами  $\sigma, \nu, \theta$  дисперсионного гамма-процесса  $V = (V_t)_{t \geq 0}$  следующими соотношениями

$$a = 1 / \nu > 0, b_1 = \left( \sqrt{\frac{1}{4}\theta^2\nu^2 + \frac{1}{2}\sigma^2\nu} + \frac{1}{2}\theta\nu \right)^{-1} > 0,$$



$$b_2 = \left( \sqrt{\frac{1}{4}\theta^2\nu^2 + \frac{1}{2}\sigma^2\nu} - \frac{1}{2}\theta\nu \right)^{-1} > 0. \quad (2)$$

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ДИСПЕРСИОННОГО ГАММА-ПРОЦЕССА

Способы моделирования дисперсионного гамма-процесса с использованием стандартного винеровского процесса и гамма-процесса как разности двух независимых гамма-процессов рассматриваются в [1], [4]. Дисперсионный гамма-процесса  $\bar{V} = (\bar{V}_t)_{t \geq 0}$  с параметрами  $a, b_1, b_2$  и дисперсионный гамма-процесса  $V = (V_t)_{t \geq 0}$  с параметрами  $\sigma, \nu, \theta$  моделируются в MATLAB® 7.6.0 (R2008a). На рисунках 1, 2 представлены траектории дисперсионных гамма-процессов  $\bar{V} = (\bar{V}_t)_{t \geq 0}$  и  $V = (V_t)_{t \geq 0}$  соответственно.

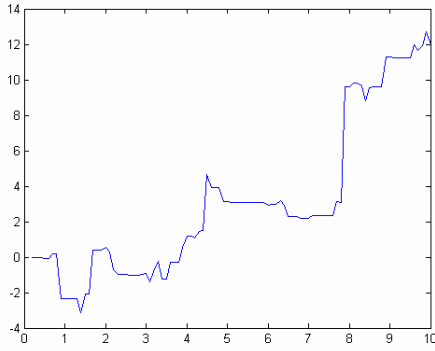


Рис. 1. Траектория дисперсионного гамма-процесса с параметрами  $a = 1, b_1 = 0,5, b_2 = 1$

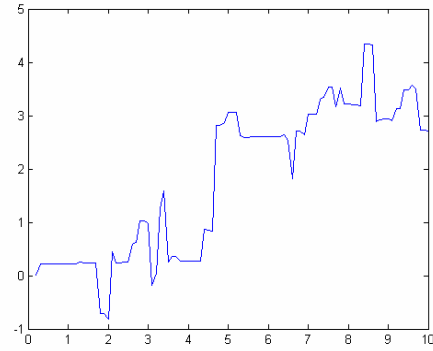


Рис. 2. Траектория дисперсионного гамма-процесса с параметрами  $\sigma = 2, \nu = 1, \theta = 1$

Пусть случайная величина  $\vartheta$  имеет математическое ожидание  $m = M\vartheta$ , дисперсию  $d = D\vartheta$ , асимметрию  $s = S\vartheta$  и эксцесс  $k = K\vartheta$ , а  $\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_n$  – выборка объема  $n \geq 1$  за случайной величиной  $\vartheta$ , тогда:

$$\begin{aligned} \hat{m}_n &= 1/n \sum_{j=1}^n \vartheta_j, & \hat{d}_n &= 1/(n-1) \sum_{j=1}^n (\vartheta_j - \hat{m}_n)^2, \\ \hat{s}_n &= \sqrt{n(n-1)/(n-2)} \mu_3 / \mu_2^{3/2}, \\ \hat{k}_n &= (n^2 - 1)/(n-2)(n-3) \left( \mu_4 / \mu_2^2 - 3 + 6/(n+1) \right), \end{aligned}$$

$\mu_k = 1/n \sum_{j=1}^n (g_j - \hat{m}_n)^k$ ,  $k = 2, 3, 4$  – несмещенные и состоятельные оценки

математического ожидания, дисперсии, асимметрии и эксцесса соответственно [2].

В работе по наблюдениям за дисперсионным гамма-процессом строятся оценки математического ожидания, дисперсии, асимметрии, эксцесса и оценки параметров  $\sigma, \nu, \theta$ ; используя теорему 1 строятся оценки параметров  $a, b_1, b_2$ .

### Литература

1. Cont R., Tankov P. Financial modeling with jump processes. Chapman and Hall CRC Press. 2003. P. 192.
2. Крамер Г. Математические методы статистики. М.: Мир. 1975. С. 375–386.
3. Madan D. B., Carr P.P., E.C. Chang E.C. The variance gamma process and option pricing // European Finance Preview 2. 1998. P. 79–105.
4. Schoutens W. Levy processes in finance. Williams. 2003. P. 108–109.

## ЗАДАЧИ МИНИМИЗАЦИИ ВРЕМЕНИ ЗАВЕРШЕНИЯ ПРОЕКТА НА МНОГОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЕ С РАЗНЫМИ СКОРОСТЯМИ ПРОЦЕССОРОВ

Ю. С. Мазаник, В. М. Котов

### ВВЕДЕНИЕ

В классической задаче минимизации времени завершения проекта на многопроцессорной системе рассматривается система из  $m > 1$  машин  $M_1, \dots, M_m$  с соответствующими им скоростями  $s_1, \dots, s_m$  и  $N$  работ, с неотрицательными временами обработки  $a_1, \dots, a_n > 0$ . Требуется распределить все работы таким образом, чтобы время их обработки было минимальным.

В on-line версии данной задачи, все работы поступают последовательно, и каждую работу необходимо назначить на выполнение одной из машин сразу после поступления и, не имея никакой информации о последующих работах.

Поскольку последовательность работ заранее не известна, данная задаче не имеет оптимального решения. Существует несколько способов оценки эффективности построенного решения. Стандартной является оценка качества предложенного алгоритма, относительно offline задачи.

Такой коэффициент принято называть асимптотическим коэффициентом эффективности, а метод оценивания сравнительным анализом.

Обозначим через  $opt(n)$  время работы оптимального алгоритма для решения offline задачи, а через  $A(n)$  – время работы предлагаемого алгоритма решения online задачи, тогда формула для вычисления асимптотического коэффициента эффективности имеет вид  $R(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{A(n)}{opt(n)}$ . Гарантированная оценка времени работы вычисляется

по формуле  $G(A) = \max_{\forall n} \frac{A(n)}{opt(n)}$ .

Впервые данная проблема была исследована Грэмом (Graham) [1], который показал, что LS (list scheduling), алгоритм имеет асимптотическую оценку не менее  $3 - \frac{4}{m+1}$ .

В работе [2] была рассмотрена классическая задача, с дополнительным условием на время выпуска работ с машин.

Получена зависящая от количества машин оценка эффективности  $\frac{1+z+\sqrt{4m-4+(1-z)^2}}{2}$ , где  $z = \frac{r_{\max}}{\max(r_{\max}, p_{\max})}$ . ( $r_{\max}$  – максимальное время выпуска,  $p_{\max}$  – самая трудная работа).

В работе [3] был предложен алгоритм с оценкой 2.45 для рассматриваемой ниже задачи.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И БАЗОВЫЕ ФОРМУЛЫ

В данной работе рассмотрен частный случай классической on-line задачи, когда  $s_1 = \dots = s_{m-1} = 1$ ,  $1 < s_m = s < 2$ .

Введем некоторые стандартные обозначения:

$LB_n$  – нижняя оценка времени работы оптимального алгоритма на шаге  $n$ ,

$m$  – количество машин,

$a_i$  – время выполнения  $i$ -ой работы,

$a_{\max}$  – время выполнения максимальной из поступивших данным шаге работ,

$a_{\max 2}$  – время выполнения второй по длительности среди поступивших работ,

$L(X_i, j)$  – суммарная загрузка  $i$ -ой машины на шаге  $j$  (сокращенно  $L(X_i)$ ),

$L_{jcc}$  – средняя загрузка машин на шаге  $j$ ,

$LB_j$  – оценку можно вычислить по формуле:

$$LB_j = \left\{ \sum_{i=1}^j \frac{a_i}{m+s-1}, \frac{a_{\max}}{s}, a_{\max 2} \right\}.$$

Назовем работу обычной, если ее вес не превосходит  $1.2LB_j$ , в противном случае назовем работу большой.

### АЛГОРИТМ НАЗНАЧЕНИЯ

Разобьем машины на группы по 6 в каждой. Быструю машину будем рассматривать отдельно. В случае, если количество машин не представимо в виде  $6p$  или  $6p+1$  оставшиеся машины будут образовывать неполную группу (без машины типа  $F$ )

$$\begin{pmatrix} A_1 & B_1 & C_1 & D_1 & E_1 & F_1 \\ A_{\frac{M}{k}} & B_{\frac{M}{k}} & C_{\frac{M}{k}} & D_{\frac{M}{k}} & E_{\frac{M}{k}} & F_{\frac{M}{k}} \end{pmatrix}.$$

В каждой из групп на первые 5 машин будем назначать обычные работы пока загрузка машин не превышает  $2.4LB_j$

$$L(X_i, j) + a_j < 2.4LB_j, \forall X \in \{A, B, C, D, E\}.$$

Быструю машину будем загружать большими работами пока ее загрузка не превышает  $2.4LB_j$  – с нее будем начинать итерацию загрузки машин типа  $F$ . Как только загрузка быстрой машины на с текущей работой превысит  $2.4LB_j$ , будем загружать машину  $F$ , на каждом шаге выбирая меньше всего загруженную машину типа  $F$ . Когда каждая машина типа  $F$  будет загружена хотя бы по одному разу, будем говорить о том, что итерация завершена.

**Теорема об асимптотической оценке.** При указанной процедуре загрузки алгоритм дает гарантированную оценку 2.4.

**Лемма 1.** Любую обычную работу можно выполнить на машинах из групп  $(A - E)$ , чтобы время завершения не превышало  $2.4LB_j$ .

**Доказательство.** Предположим, что на текущем шаге какая-то обычная работа не может выполняться на машинах типа  $(A-E)$  в пределах времени  $2.4LB_j$ . Тогда для каждых 5-и машин имеем:

$L_j(X) + a_j > 2.4LB_j$ , откуда следует, что  $L_j > 1.2LB_j, \forall X \in \{A, B, C, D, E\}$ . Поэтому при любой загрузке машины  $F$  имеем:  $L_j(A) + L_j(B) + L_j(C) + L_j(D) + L_j(E) > 1.2LB_j \cdot 5 = 6LB_j$ . Тогда средняя загрузка больше  $LB_j$ , чего быть не может т.к.  $LB_j$  больше средней загрузки по построению. (Оставшиеся машины загружены больше  $1.2LB_j$  каждая т.е. не влияют на оценку алгоритма).

**Лемма 2.** При  $H$  не меньше 7, где  $H$  это количество групп машин, загружая машины типа  $F$  в порядке увеличения их нагрузки, после завершения каждой из итераций загрузки больших машин, загрузка минимально загруженной машины типа  $F$  всегда будет меньше  $0.4LB_j$ .

**Доказательство.** Не нарушая общности, предположим, что машины упорядочены в порядке возрастания загрузки (т.е. первой идет наименее загруженная машина). В процессе загрузки не будем изменять порядок следования машин до конца текущей итерации. Для начала загрузки предположение верно, т.к. загрузка машины  $F_1 = 0$ . Рассмотрим поток больших работ, загружаемых на машины типа  $F$ . Обозначим данные работы как  $p_1, \dots, p_H$ , где  $H$  это количество наборов. Соответствующие им  $LB_j$  обозначим  $LB_1, \dots, LB_H$ .

Заметим, что если мы будем класть большую работу на машину загрузка, которой меньше  $0.4LB_j$ , то полученная загрузка не превысит  $sLB_j + 0.4LB_j < (2 + 0.4)LB_j = 2.4LB_j$ , а в случае быстрой машины ее загрузка при тех же начальных условиях будет  $LB_j + 0.4LB_j < (1 + 0.4)LB_j = 1.4LB_j$ . Т.е. в начале любой итерации мы будем 2 раза класть большие работы на машину со скоростью  $s$ .

Рассмотрим несколько первых шагов после загрузки быстрой машины:  $p_3 > 1.2LB_3$ . Предположим, что  $p_3 \neq p_{\max}$ . В этом случае получаем  $p_3 \leq p_{\max 2} \leq LB_3$ , что неверно, откуда следует, что  $p_3 = p_{\max}$  (аналогично можно показать, что каждая последующая работа является максимальной для своего шага). Откуда  $p_3 > 1.2LB_3 > 1.2LB_2$  и  $p_4 > 1.2LB_4 > 1.2p_3 > 1.2^2 LB_3$ .

Таким образом, получим  $p_H > 1.2^{H-1} LB_1$ . Для того, чтобы существовало нужное нам  $H$ , необходимо, чтобы выполнялось соотношение:

$$p_1 + 0.4LB_1 < 0.4LB_{H+1}$$

$$0.4LB_1 \geq 0.4p_H > 0.4 \cdot 1.2^{H-1} LB_1$$

$$p_1 + 0.4LB_1 \leq LB_1 + 0.4LB_1, \{p_1 = p_{\max} > sLB_1\}$$

Таким образом,  $H$  можно найти из формулы  $1.4LB_1 < 0.4 \cdot 1.2^{H-1} LB_1$ .

$$H \geq \left\lceil \frac{\ln\left(\frac{7}{2}\right)}{\ln(1.2)} \right\rceil + 1,$$

т.е. если  $H \geq 7$  то машин больше чем 43 и предложенный алгоритм дает оценку 2.4.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе построен алгоритм, для задачи минимизации времени завершения проекта на многопроцессорной системе со скоростями процессоров 1 и  $s$ , и доказано, что представленный алгоритм дает асимптотическую оценку 2.4 для количества машин, большего, чем 43.

## Литература

1. *R. L. Graham*. Bounds on multiprocessing timing anomalies. // SIAM J. Appl. Math. 17 1969. P. 263–269.
2. *Christos Loulamos, George J. Kyparisis*. «Makespan minimization on uniform parallel machines with release times». // European Journal of Operational Research. 2004.
3. *T. C. E. Cheng, C. T. Ng, Vladimir Kotov*. «A new algorithm for online uniform-machine scheduling to minimize the makespan». // Information Processing Letters. V 99. 2006.

## ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЦЕПЕЙ МАРКОВА ПЕРЕМЕННОГО ПОРЯДКА

**М. В. Мальцев**

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Цепи Маркова [1] используются для решения многих задач статистического анализа данных в генетике [2], экономике и других областях научной и практической деятельности. Общей моделью в таких исследованиях является цепь Маркова  $s$ -го порядка,  $s \geq 1$ . Однако число параметров данной модели возрастает экспоненциально при увеличении порядка  $s$ . Для статистического оценивания параметров требуется иметь реализацию последовательности далеко не всегда доступной на практике длительности. Поэтому актуальной является задача построения малопараметрических моделей цепи Маркова высокого порядка.

Примерами таких моделей являются цепь Маркова  $s$ -го порядка с  $r$  частичными связями [3], модель Рафтери [4], цепь Маркова переменного порядка [5]. В данной работе рассматривается специальный частный случай цепи Маркова переменного порядка – цепь Маркова с условной глубиной памяти.

## 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Примем обозначения:  $2 \leq N \leq \infty$ ,  $A = \{0, 1, \dots, N-1\}$ , – пространство состояний мощности  $N$ ;  $x_t \in A$ ,  $t \in \mathbf{N}$ , – однородная цепь Маркова  $s$ -го порядка ( $2 \leq s < \infty$ ), заданная на вероятностном пространстве  $(\Omega, F, P)$ , с матрицей вероятностей одношаговых переходов  $P = (p_{J_1^{s+1}})$ ,  $p_{J_1^{s+1}} = P\{x_{t+s} = j_{s+1} \mid x_{t+s-1} = j_s, \dots, x_t = j_1\}$ ,  $\forall t \in \mathbf{N}$ , где  $J_1^{s+1} = (j_1, \dots, j_{s+1}) \in A^{s+1}$  – мультииндекс;  $1 \leq B_* \leq s-1$ ;  $K = N^{B_*} - 1$ ;  $1 \leq M \leq K+1$ ,  $Q^{(1)}, \dots, Q^{(M)}$  –  $M$  различных стохастических матриц порядка  $N$ :  $Q^{(m)} = (q_{i,j}^{(m)})$ ,  $i, j \in A$ ,  $1 \leq m \leq M$ ;  $\langle J_n^m \rangle = \sum_{k=n}^m N^{k-1} j_k$ ,  $1 \leq n \leq m \leq s$ ;  $\delta_{J_n^m, I_n^m} = \prod_{k=n}^m \delta_{j_k, i_k}$  – символ Кронекера для мультииндексов  $J_n^m, I_n^m$ .

Цепь Маркова  $s$ -го порядка  $x_t \in A$  назовем цепью Маркова с условной глубиной памяти, если ее вероятности одношаговых переходов имеют следующий малопараметрический вид:

$$p_{J_1^{s+1}} = \begin{cases} q_{j_{b_0}, j_{s+1}}^{(m_0)}, & \text{если } \langle J_{s-B_*+1}^s \rangle = 0 \\ \dots & \\ q_{j_{b_K}, j_{s+1}}^{(m_K)}, & \text{если } \langle J_{s-B_*+1}^s \rangle = K, \end{cases} = \sum_{k=0}^K \delta_{\langle J_{s-B_*+1}^s \rangle, k} q_{j_{b_k}, j_{s+1}}^{(m_k)}, \quad (1)$$

где  $1 \leq m_k \leq M$ ,  $1 \leq b_k \leq s - B_*$ ,  $0 \leq k \leq K$ ,  $\min_{0 \leq k \leq K} b_k = 1$ .

Последовательность элементов  $J_{s-B_*+1}^s$ , определяющую условие в формуле (1), назовем базовым фрагментом памяти (БФП). Из (1) видно, что для данной модели состояние  $x_t$  процесса в момент времени  $t$  зависит не от всех  $s$  предыдущих состояний, а от  $B_* + 1$  состояний  $(j_{b_k}, J_{s-B_*+1}^s)$ , причем значение БФП  $J_{s-B_*+1}^s$  определяет не только состояние  $j_{b_k}$ , но и матрицу переходов  $Q^{(m_k)}$ . Матрица  $P = (p_{J_1^{s+1}})$  вероятностей переходов для цепи Маркова с условной глубиной памяти определяется  $D = 2(N^{B_*} + 1) + MN(N-1)$  независимыми параметрами.

### 3. СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ

Вначале найдем условия, при которых цепь Маркова с условной глубиной памяти является эргодической.

**Теорема 1.** Цепь Маркова с условной глубиной памяти является эргодической тогда и только тогда, когда найдется натуральное число  $m \in \mathbb{N}$ ,  $s \leq m < \infty$ , такое, что выполняется неравенство:

$$\min_{J_1^s, J_{1+m}^{s+m} \in A^s} \sum_{J_{s+1}^m \in A^{m-s}} \prod_{i=1}^m \sum_{k=0}^K \delta_{\langle J_{i+s-1}^{i+s-1}, J_{i+s}^{i+s} \rangle, k} q_{j_{b_k+i-1}, j_{i+s}}^{(m_k)} > 0.$$

Введем следующие обозначения:

$$\begin{aligned} v_{J_1^{s+1}}(n) &= \sum_{t=1}^{n-s} \delta_{X_t^{t+s}, J_1^{s+1}}, \quad v_{J_1^l}(n) = \sum_{I_1^{s+1} \in A^{s+1}(J_1^l)} v_{I_1^{s+1}}(n), \quad 1 \leq l \leq s, \\ v_{j_0, J_1^l}^{(l_0)}(n) &= \sum_{I_1^{1+l_0+l} \in A^{1+l_0+l}(j_0^{l_0}, J_1^l)} v_{I_1^{1+l_0+l}}(n), \\ \xi_{j_0, J_1^l}^{(l_0)}(n) &= \frac{v_{j_0, J_1^l}^{(l_0)}(n) - n/N^{l+1}}{\sqrt{n/N^{l+1}}}, \quad A^{s+1}(J_1^l) = \{I_1^{s+1} \in A^{s+1} \mid I_1^l = J_1^l\}, \quad (2) \\ 1 \leq l \leq s, \quad 0 \leq l_0 \leq s-l, \end{aligned}$$

$$A^{1+l_0+l}(j_0^{l_0}, J_1^l) = \{I_1^{1+l_0+l} \in A^{1+l_0+l} \mid i_1 = j_0, \quad I_{2+l_0}^{1+l_0+l} = J_1^l\}.$$

**Теорема 2.** Если истинные значения длины БФП  $B_*$ ,  $\{b_k\}$  и  $\{m_k\}$  известны, то оценки максимального правдоподобия (ОМП) для вероятностей одношаговых переходов  $q_{u,v}^{(m_k)}$ ,  $1 \leq m_k \leq M$ ,  $u, v \in A$ , имеют вид:

$$\begin{cases} \hat{q}_{u,v}^{(m_k)} = \sum_{w \in A^{B_*}} \delta_{\langle w \rangle, k} \frac{v_{u,wv}^{(l_k)}(n)}{v_{u,w}^{(l_k)}(n)}, & \text{если } v_{u,w}^{(l_k)}(n) > 0, \\ 1/N, & \text{если } v_{u,w}^{(l_k)}(n) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

**Теорема 3.** Если цепь Маркова с условной глубиной памяти является стационарной, то при  $n \rightarrow \infty$  оценки (3) являются состоятельными:  $\hat{q}_{u,v}^{(m)} \xrightarrow{P} q_{u,v}^{(m)}$ ,  $1 \leq m \leq M$ ,  $n \rightarrow \infty$ .

**Теорема 4.** Если истинные значения длины БФП  $B_*$  и  $\{m_k\}$  известны, то ОМП параметров  $\{b_k\}$  имеют вид:

$$b_k = \arg \max_{1 \leq b \leq s-B_*} \sum_{i,j \in A} v_{i,wj}^{s-b-B_*}(n) \ln(\hat{q}_{i,wj}^{m_k}), \quad k = 1, 2, \dots, K. \quad (4)$$



Построим тест проверки гипотез:  $H_0 : x_t \in A$  – равномерно распределенная случайная последовательность [6]:  $q_{i,j}^{(m)} = 1/N, \forall i, j \in A, m = 1, 2, \dots, M$ ;  $H_1 : x_t \in A$  – цепь Маркова с условной глубиной памяти с вероятностями одношаговых переходов

$$q_{i,j}^{(m)} = q_{i,j}^{(m)}(n) = \frac{1}{N} \left( 1 + \frac{\omega_{i,j}^{(m)}(n)}{\sqrt{n}} \right) > 0, \quad \omega_{i,j}^{(m)}(n) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} \omega_{i,j}^{(m)},$$

$$\sum_{j \in A} \omega_{i,j}^{(m)} = 0, \quad \sum_{m=1}^M \sum_{j \in A} |\omega_{i,j}^{(m)}| \neq 0. \quad (5)$$

Введем в обозначение статистику:

$$\rho(n) = \sum_{\substack{w \in B_s, \\ u, v \in A}} \sum_{k=0}^K \delta_{\langle w \rangle, k} (\xi_{u, wv}^{(l_k)})^2 - \frac{1}{N} \sum_{\substack{w \in B_s, \\ u \in A}} \left( \sum_{k=0}^K \sum_{v \in A} \delta_{\langle w \rangle, k} \xi_{u, wv}^{(l_k)} \right)^2.$$

**Теорема 5.** Если справедлива гипотеза  $H_0$ , то при  $n \rightarrow \infty$  распределение вероятностей статистики  $\rho(n)$  сходится к  $\chi^2$ -распределению с  $U = N^{B_s+1}(N-1)$  степенями свободы.

С помощью полученного в теореме результата построен тест, основанный на статистике  $\rho(n)$ :

$$\begin{cases} H_0 : \rho(n) \leq \Delta, \\ H_1 : \rho(n) > \Delta, \end{cases}$$

где  $\Delta = G_U^{-1}(1-\alpha)$  – квантиль уровня  $1-\alpha$  стандартного  $\chi^2$ -распределения с  $U$  степенями свободы,  $\alpha$  – заданный уровень значимости.

### Литература

1. Кемени Дж., Снелл Дж. Конечные цепи Маркова // М. Наука. 1970.
2. Уотермен М. С. Математические методы для анализа последовательностей ДНК // М. Мир 1999.
3. Харин Ю. С., Петлицкий А. И. Цепь Маркова с частичными связями ЦМ( $s, r$ ) и статистические выводы о ее параметрах // Дискретная математика. 2007. Т. 19 В. 2. С. 109–130.
4. Raftery A. E. A Model for High-Order Markov Chains // J. Royal Statistical Society. 1985. Vol. B. 47. № 3. P. 528–539.
5. Buhlmann P., Wyner A. Variable Length Markov Chains // The Annals of Statistics. 1999. Vol. 27. № 2. P. 480–513.
6. Харин Ю.С. и др. Математические и компьютерные основы криптологии / Мн. Новое знание. 2003.

# ОЦЕНИВАНИЕ РИСКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОДНОРОДНЫХ КОНЕЧНЫХ ЦЕПЕЙ МАРКОВА

К. С. Матецкий

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цепи Маркова  $x_t \in A$ ,  $t \in \mathbf{N}$ , где пространство состояний  $A = \{0, 1, \dots, N-1\}$  – конечное множество мощности  $2 \leq N < +\infty$ , широко применяются при математическом моделировании сложных систем и процессов в экономике, технике, медицине, социологии, генетике и других приложениях [1–4]. На практике часто возникают задачи прогнозирования будущих значений цепи Маркова по наблюдаемой реализации и оценивания риска прогнозирования [3–4].

Рассмотрим случай, когда подлежащий прогнозированию временной ряд  $x_t$ , является однородной стационарной цепью Маркова с конечным пространством состояний  $A$ , стационарным распределением вероятностей  $\pi = (\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_{N-1})' \in [0, 1]^N$  и матрицей вероятностей одношаговых переходов  $P = (p_{ij}) \in [0, 1]^{N \times N}$ :

$$P\{x_1 = i\} = \pi_i, \quad P\{x_{t+1} = j | x_t = i\} = p_{ij}, \quad i, j \in A; \quad \sum_{i \in A} \pi_i = 1; \quad \sum_{j \in A} p_{ij} = 1, \quad i \in A.$$

Временной ряд наблюдается в течение  $T \geq 1$  последовательных единиц времени, и зарегистрирована реализация  $X_1^T = (x_1, x_2, \dots, x_T) \in A^T$ .

Задача состоит в построении прогнозирующей статистики будущего значения  $x_{T+\tau}$  по наблюдаемой реализации  $X_1^T$  и исследовании риска прогнозирования для (0-1)-функции потерь:  $r(T, \tau) = P\{\hat{x}_{T+\tau} \neq x_{T+\tau}\}$ .

алгоритмы прогнозирования

**Теорема 1.** Если  $x_t$  – однородная стационарная цепь Маркова с известными параметрами  $\pi$ ,  $P$ , то оптимальная по критерию минимума вероятности ошибки (риска для (0-1)-функции потерь) прогнозирующая статистика имеет вид:

$$\hat{x}_{T+\tau} = \arg \max_{j \in A} p_{x_T, j}^{(\tau)}, \quad (1)$$

где  $p_{ij}^{(\tau)}$  –  $(i, j)$ -й элемент матрицы  $P^\tau$ . При этом достигается минимум риска:

$$r_0(\tau) = P\{\hat{x}_{T+\tau} \neq x_{T+\tau}\} = 1 - \sum_{i \in A} \pi_i \max_{j \in A} p_{ij}^{(\tau)}.$$

Если матрица вероятностей переходов  $P$  априорно не известна, то строится ее оценка максимального правдоподобия  $\hat{P} = (\hat{p}_{ij})$  по наблюдаемой реализации  $X_1^T$ :

$$\hat{p}_{ij} = \begin{cases} \frac{\sum_{t=1}^{T-1} \delta_{x_t, i} \delta_{x_{t+1}, j}}{\sum_{t=1}^{T-1} \delta_{x_t, i}}, & \text{если } \sum_{t=1}^{T-1} \delta_{x_t, i} > 0, \\ 1/N, & \text{если } \sum_{t=1}^{T-1} \delta_{x_t, i} = 0, \end{cases}$$

где  $\delta_{ij} = \{1, i = j; 0, i \neq j\}$ ,  $i, j \in A$ , – символ Кронекера. Тогда «подстановочная» прогнозирующая статистика получается из (1):

$$\hat{x}_{T+\tau} = \arg \max_{j \in A} (\hat{P}^\tau)_{x_T, j}. \quad (2)$$

### ЗНАЧЕНИЕ РИСКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Введем обозначение:  $F_{ij}$ ,  $i, j \in A$  – множества  $(N \times N)$ -матриц с элементами из  $\mathbf{N} \cup \{0\}$ , удовлетворяющих условиям:

$$\sum_{u, v \in A} f_{uv} = T - 1, \quad f_{u \cdot} - f_{\cdot u} = \delta_{ui} - \delta_{vj}, \quad u \in A.$$

Теорема 2. В случае  $\tau = 1$  риск прогнозирования равен

$$r(T, \tau) = 1 - \sum_{i, j, k \in A} \pi_i p_{jk} \sum_{\substack{F \in F_{ij}: \\ f_{jk} > f_{jl}, l \neq k}} \frac{\prod_{u \in A} f_{u \cdot}!}{\prod_{u, v \in A} f_{uv}!} F_{ji}^* \prod_{u, v \in A} p_{uv}^{f_{uv}},$$

где  $F_{ji}^*$  – алгебраическое дополнение к элементу  $(j, i)$  матрицы  $F^* = (f_{uv}^*)$  с элементами

$$f_{uv}^* = \begin{cases} \delta_{uv} - f_{uv} / f_{u \cdot}, & \text{если } f_{u \cdot} > 0, \\ \delta_{uv}, & \text{если } f_{u \cdot} = 0. \end{cases}$$

### ВЕРХНЯЯ ОЦЕНКА РИСКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

По наблюдаемой цепи Маркова  $x_t$  построим новый дискретный временной ряд  $y_t = (x_t, x_{t+1})$ ,  $t \geq 1$ ;  $y_t$  является стационарной цепью Марко-

ва с матрицей вероятностей одношаговых переходов  $\bar{P} = (\bar{p}_{(ij)(kl)})$  и вектором стационарных распределений  $\bar{\pi} = (\bar{\pi}_{(ij)})$ :  $\bar{p}_{(ij)(kl)} = \delta_{jk} p_{kl}$ ,  $\bar{\pi}_{(ij)} = \pi_i p_{ij}$ ,  $i, j, k, l \in A$ .

**Теорема 3.** Если в каждой  $i$ -ой строке матрицы  $P$  существует единственный максимальный элемент с номером  $i^* \in A$ , то справедлива верхняя асимптотическая оценка риска прогнозирования:

$$r(T, 1) \leq r_0 + (2^{N-1} - 1) \sum_{i \in A} \pi_i p_{ii^*} \max_{k \in A \setminus \{i^*\}} \{v_{(ik)(ii^*)}\} \frac{1}{T} + O\left(\frac{1}{T^2}\right), \quad (3)$$

где  $v_{(ik)(ii^*)} = (2\bar{\pi}_{(ik)}(z_{(ik)(ik)} - z_{(ik)(ii^*)}) + 2\bar{\pi}_{(ii^*)}(z_{(ii^*)(ii^*)} - z_{(ii^*)(ik)}) - (\bar{\pi}_{(ik)} + \bar{\pi}_{(ii^*)}) - (\bar{\pi}_{(ik)} - \bar{\pi}_{(ii^*)})^2) / (\bar{\pi}_{(ik)} - \bar{\pi}_{(ii^*)})^2$ ,  $z_{(ij)(kl)}$  –  $((i, j), (k, l))$ -й элемент фундаментальной матрицы  $Z$  цепи Маркова  $y_t$ .

### АППРОКСИМАЦИЯ РИСКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ЦПТ

**Теорема 4.** В случае  $N \geq 2$ ,  $\tau \geq 1$ , если  $(N-1) \times (N-1)$ -матрицы  $A_{ij}$ ,  $i, j \in A$ , с элементами

$$(A_{ij})_{kl} = \sum_{t=0}^{\tau-1} p_{ii}^{(t)} \left(1 + p_{lk}^{(\tau-t-1)} - p_{lj}^{(\tau-t-1)}\right), \quad k, l \in A \setminus \{j\},$$

невыврождены, то для риска прогнозирования статистики (2) верна сходимость:

$$r(T, \tau) - r_+(T, \tau) \xrightarrow{T \rightarrow +\infty} 0,$$

где  $r_+(T, \tau) = 1 - \sum_{i, j \in A} \pi_i p_{ij}^{(\tau)} \int_0^{+\infty} \dots \int_0^{+\infty} n_{N-1} \left( x \left| \mu_{ij}^{(\tau)}, \frac{1}{T-1} \Xi_{ij}^{(\tau)} \right. \right) dx_0 \dots dx_{N-2}$ ,  $n_{N-1}$  –

плотность  $(N-1)$ -мерного нормального закона распределения с параметрами  $\mu_{ij}^{(\tau)} = (p_{ij}^{(\tau)} - p_{ik}^{(\tau)}) \in \mathbf{R}^{N-1}$ ,  $k \in A \setminus \{j\}$ , и  $\Xi_{ij}^{(\tau)} = A_{ij} \Sigma_{ij} A'_{ij}$ ,

$\Sigma_{ij} = (\sigma_{kl}) \in \mathbf{R}^{(N-1) \times (N-1)}$ ,  $\sigma_{kl} = \frac{1}{\pi_i} p_{ik} (\delta_{kl} - p_{il})$ ,  $k, l \in A \setminus \{j\}$ .

Из теоремы 4 следует, что функцию  $r_+(T, \tau)$  можно использовать в качестве аппроксимации риска прогнозирования цепи Маркова.

### ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

В ходе численных экспериментов иллюстрировались полученные результаты. Значения параметров:  $N=2$ ,

$$P = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.9 \\ 0.9 & 0.1 \end{pmatrix}, \quad \pi = \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0.5 \end{pmatrix}.$$

Моделировались цепи Маркова, затем методом Монте-Карло оценивался риск прогнозирования их будущих значений при горизонте прогнозирования  $\tau = 1$ , вычислялись оценки  $r^+(T) = r_0 + A/T$  (где константа  $A$  определена в правой части (3)). Число прогонов в методе Монте-Карло  $K=10^5$ . Результаты экспериментов приведены на рисунке 1.

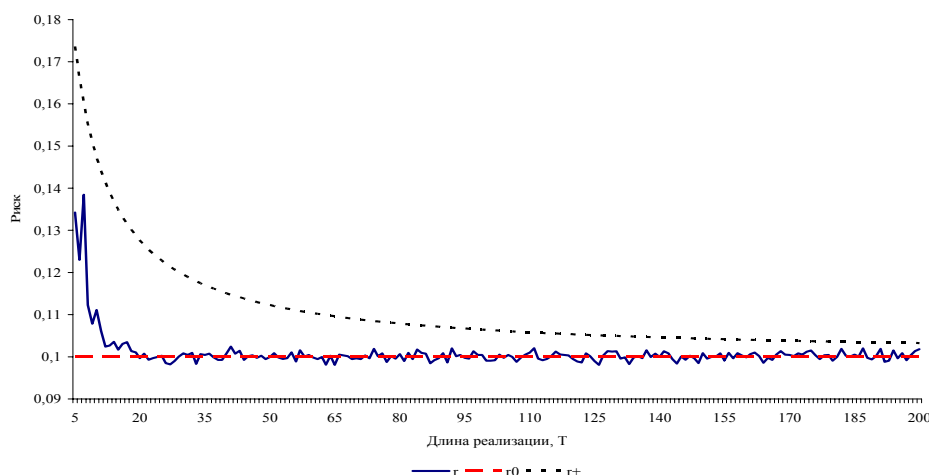


Рис.1. Графики оценок риска

В ходе численных экспериментов получено, что точность главного члена оценки (3) существенно зависит от матрицы  $P$ . Эта точность ниже, если матрица вероятностей переходов  $P$  имеет доминирующие диагональные элементы, по сравнению со случаем, когда диагональные элементы не являются доминирующими.

### Литература

1. Basawa I. V., Rao B. L. C. Statistical interference for stochastic processes. N.Y. // Academic Press. 1980.
2. Дуб Дж. Вероятностные процессы. // М. ИЛ. 1956.
3. Харин Ю. С. Оптимальность и робастность в статистическом прогнозировании. // Мн. БГУ. 2008.
4. Харин Ю. С. Вероятностно-статистический анализ цепей Маркова высокого порядка // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 1. 2006. N 3. С. 80–86.

## ТЕСТИРОВАНИЕ WEB-ПРИЛОЖЕНИЙ

**А. Г. Морейнис**

В настоящее время все большее распространение получают приложения, взаимодействующие с пользователем посредством Web-интерфейса.

Поэтому актуальным вопросом для Web-приложений является обеспечение качества работы, т.е. программы должны выдавать те страницы, которые ожидает увидеть пользователь. Таким образом, необходимо решать задачу функционального тестирования, например, с помощью нагрузочного тестирования. Большинство Web-приложений постоянно развиваются и модифицируются, поэтому важным является наличие регрессионных тестов для того, чтобы удостовериться, что результаты внесения изменений не нарушают функциональности приложения. Непосредственное тестирование Web-приложений человеком отнимает много времени и в случае больших приложений малоэффективно, т.е. переход по различным ссылкам внутри приложения и анализа отображаемых страниц, работа с большим количеством входных параметров, работающих с базами данных сложной структуры и с большим количеством записей. При разработке таких программных продуктов вопрос об автоматизации процесса их тестирования стоит особенно остро.

Одними из самых распространенных видов тестирования Web-приложений являются [4, 5]:

- Тестирование Web-приложений «на проникновение» основано на проверке ввода на корректность.
- Функциональное тестирование или тестирование черного ящика – это тестирование программного обеспечения в целях проверки реализуемости функциональных требований, т.е. способности программного обеспечения в определенных условиях решать задачи, которые нужны пользователям.
- Использование Selenium для тестирования Web-приложений на различных браузерах представляет собой инструментальное средство приемочного тестирования, тесты которого выполняются непосредственно в браузере.
- Тестирование Web-приложений с помощью Ruby – это высокоуровневая методика тестирования Web-приложений, которая используется как для системного, так и для приемочного тестирования. Ключевую роль при этом играет Ruby-библиотека Application Testing In Ruby, которая позволяет запрограммировать действия браузера Internet Explorer на языке Ruby так, чтобы можно было автоматизировать значительную часть ручной работы тестеров по заполнению форм, переходу по ссылкам и т.д.
- Нагрузочное тестирование Web-приложений – это запись трафика, который генерируется при общении локального компьютера с сервером, а затем использует записанный трафик для эмуляции действий пользователей.

- Приемочное тестирование основано на тестировании группы связанных классов, которые создают желаемый результат;
- Применение инструментов браузеров Internet Explorer, Mozilla Firefox, Opera, Google Chrome ориентированы на Web-разработчиков для создания, редактирования и анализа Web-страниц.
- Проанализировав различные виды тестирования Web-приложений, мною было разработано тестирующее Web-приложение, которое предназначено для Web-разработчиков с целью оптимизации рабочего процесса. Разработанное Web-приложение основано на следующем:
  - Структуру любого Web-приложения можно представить в виде дерева или любой другой древовидной структуры;
  - Для анализа функциональности Web-приложения потребуется следующее [3]:
    - кнопки;
    - гипертексты;
    - картинки;
    - JavaScript;
    - URL;
    - links;
    - формы.
  - Информация страницы содержит следующее:
    - все возможные пути переходов с текущей страницы;
    - информация о странице;
    - структурное содержание;
    - время обработки;
    - пройденные и не пройденные тесты.
  - Настройки:
    - ограниченное или неограниченное количество тестов;
    - точка входа;
    - предмет тестирования;
    - корректные и некорректные параметры;
    - установка маршрута для тестирования конкретной области web-приложения;
    - тестирование определенных страниц;
    - задание количества пользователей с личными настройками.

Выше изложенный подход тесно пересекается с тестированием Web-приложений «на проникновение», с помощью Ruby, с использованием Selenium, с помощью инструментов браузеров Internet Explorer, Mozilla Firefox, Opera, Google Chrome посредством ссылок, полей для ввода, гипертекстов, форм.

Для реализации проекта я использовал Ext GWT [1, 2], что позволило ускорить разработку проекта, уменьшило затраты на разработку интерфейса. Проект разделен на две части: серверную и клиентскую, взаимодействие между которыми происходит в асинхронном режиме, что позволяет улучшить передачу данных и показать работоспособность программы разработчику. Для сохранения и получения важной информации используется MySQL, в котором хранится конфиденциальная информация пользователей сайтов. Разработанное Web-приложение позволяет программисту ускорить разработку web-приложения, т.к. помогает найти ошибки на ранних этапах разработки, что увеличивает устойчивость и уменьшает стоимость проекта. Также Web-приложение позволяет получить абстрактное представление о структуре разрабатываемого или тестируемого web-приложения, которое даёт лучшее представление и отделяет разработку от тестирования. Так разработчику не придётся тратить время на ожидание работы сотрудника по тестированию Web-приложения и избавляет самого от тестирования, что позволяет сконцентрироваться на разработке, устранении неполадок. В результате автоматизации процесса тестирования Web-приложений устраняется человеческий фактор в поиске существующих ошибок, что позволяет сократить время разработки и поддержки самого проекта и отпадает необходимость привлечения дополнительных ресурсов.

При тестировании Web-приложений необходимо грамотно выбирать инструменты для их тестирования, поскольку этот выбор сделает более эффективной работу, как разработчика, так и сотрудника по тестированию Web-приложений.

С моей точки зрения, тестирование web-приложений “на проникновение”, с помощью Ruby, с использованием Selenium, с помощью инструментов браузеров IE, Mozilla Firefox, Opera, Google Chrome лучше всего подходят для тестирования Web-приложения на клиентской стороне на начальном этапе, что позволяет без перегрузки сервера сократить время на исправление, добавление информации в Web-приложении. А функциональное, нагрузочное, приёмочное виды тестирования больше всего подходят для серверной части Web-приложения и должны применяться на первых этапах разработки, т.к. правильная разработка на данных этапах не приводит к увеличению стоимости проекта и появлению более серьёзных ошибок.

Разработанное Web-приложение тесно связано с тестированием Web-приложений «на проникновение», с помощью Ruby, с использованием Selenium, с помощью инструментов браузеров IE, Mozilla Firefox, Opera, Google Chrome.



## Литература

1. *Grant K. S.* Developing with Ext GWT Enterprise RIA Development. Apress. 2009.
2. *Dewsbury R.* Google Web Toolkit. Prentice Hall. 2007.
3. *Фридл Дж.* Регулярные выражения. Символ-Плюс. 2008.
4. *Брайан А.* Тестирование и оптимизация веб-сайтов: руководство по Google Website Optimizer. Диалектика. 2009.
5. *Стотлемайер Д.* Тестирование Web-приложений. КУДИЦ-Образ. 2003.

## ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ ИЗМЕНЕННЫХ ДАННЫХ

Столяров В. О., Шавлак М. Ю.

### ВВЕДЕНИЕ

Задача оптимального покрытия измененных данных рассматривается при передаче модифицированного изображения с экрана одного устройства на экран другого устройства и является частным случаем задачи покрытия множества. Для ее решения были рассмотрены следующие алгоритмы:

- Сеточный алгоритм,
- Жадный алгоритм.

Введем определение эффективности решения. Под эффективностью здесь понимается совокупность атрибутов решения: интерактивность, рациональное использование канала передачи данных (оптимальность сжатия), экономия трафика (минимизация данных на отправку).

Для построения эффективного решения требуется решить две алгоритмические проблемы. Первая – как эффективно покрыть изменения на экране, произошедшие за определенное время прямоугольниками пикселей. Критерий эффективности в данном случае – количество прямоугольников. Задача алгоритма – минимизировать это количество. Вторая проблема – как эффективно сжать эти прямоугольники перед отправкой на устройство клиента. В этом случае критерий эффективности – баланс между степенью сжатия и временем сжатия/распаковки.

### Постановка алгоритмической задачи

В результате очередного обновления экрана перед серверным приложением ставится задача оптимального покрытия изменённых точек прямоугольниками, в общем случае известная как “задача о минимальном покрытии множества”. Формулируется она следующим образом. Пусть даны множество  $M = \{1, \dots, m\}$  и набор его подмножеств  $M_1, \dots, M_n$  таких,

что  $\bigcup_{j=1}^n M_j = M$ . Совокупность подмножеств  $M_j, j \in J \subseteq \{1, \dots, n\}$ , назы-

вается покрытием множества  $M$ , если  $\bigcup_{j \in J} M_j = M$ . Каждому  $M_j$  припи-  
сан вес  $c_j \geq 0$ . Требуется найти покрытие минимального суммарного ве-  
са. Задача называется невзвешенной, если все подмножества  $M_j$  имеют  
единичные веса.

В общем виде задача о покрытии NP-трудна, поэтому логично пред-  
положить, что следует искать приближенные алгоритмы полиномиаль-  
ной сложности, доставляющие решения со значениями целевой функции,  
близкими к оптимуму. Рассмотрим некоторые примеры приближённых  
алгоритмов для решения поставленной задачи.

### СЕТОЧНЫЙ АЛГОРИТМ

Самый простой на первый взгляд и, тем не менее, достаточно эффек-  
тивный алгоритм, разработанный в настоящей работе, заключается в  
разбиении экрана на множество непересекающихся прямоугольников по  
сетке. Очевидно, что при таком выборе семейства множеств  $M_j$ , сущест-  
вует единственное покрытие  $M$ . Алгоритм необычайно прост в реализа-  
ции: достаточно посетить каждую точку единожды, чтобы построить по-  
крывающее множество. Таким образом, он имеет минимальную возмож-  
ную сложность  $O(N \times M)$ .

Быстрота работы делает его хорошим выбором на высокоскоростных  
соединениях, где время, затраченное на вычисления может быть больше  
задержки передачи данных по сети. Алгоритм в худшем случае даёт че-  
тырёхкратный проигрыш по сравнению с оптимальным решением. Од-  
нако эта граница редко достигается на практике. На рисунке 1 показано  
сеточное покрытие текстовых изменений (ввод A,B,C).

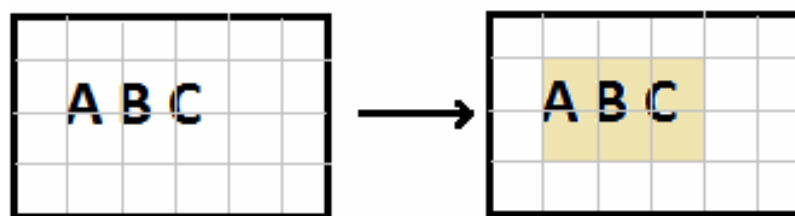


Рис. 1. Схема работы сеточного алгоритма

## ЖАДНЫЙ АЛГОРИТМ

Рассмотрим жадный алгоритм для покрытия изменившихся точек экрана размером  $M \times N$  квадратами шириной  $W$ . Идея алгоритма проста: на каждой итерации выбирать квадраты с максимальным количеством покрываемых точек. На рисунке 2 представлена демонстрация его работы на измененной области в форме треугольника.

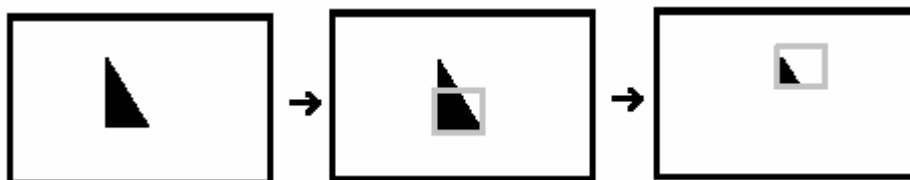


Рис. 2. Работа жадного алгоритма

В [1] показано, что относительная погрешность  $\delta \leq 1 + \ln \max_{j=1, \dots, n} |M_j|$ .

Также было доказано, что в невзвешенном случае для этого алгоритма справедливо неравенство  $\delta \leq \ln m - \ln \ln m + 0,78$ , что близко к известной нижней оценке  $\delta \geq (1 - \varepsilon) \ln m$ .

Решение можно разбить на два этапа: построение множества квадратов с ассоциированным весом и сортировка их по убыванию. Весом  $s(A)$  квадрата  $A$  назовём количество точек, которые он покрывает. Как и в случае с кэшированием, функция  $s(A)$  обладает свойством, позволяющим за один проход по экрану вычислить её для всех квадратов.

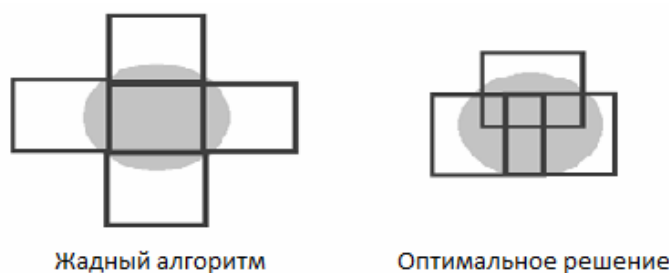


Рис. 3. Сравнение результатов работы жадного алгоритма и оптимального решения

Таким образом, сложность построения множества квадратов порядка  $O(N \cdot M)$ . В результате также получим количество квадратов порядка  $O(N \cdot M)$ . Сортировка их по убыванию в среднем  $O(N \cdot M \cdot \log(N \cdot M))$ . Как альтернатива, можно использовать бинарное дерево поиска для сортировки, однако этот подход не даст нам уменьшения алгоритмической сложности задачи. Выборку из отсортированной последовательности можно произвести за время порядка  $O(N \cdot M)$ . Таким образом, алгоритм

даст нам результат за время порядка  $O(N \cdot M \cdot \log(N \cdot M))$ , что достаточно эффективно для целей, поставленных в настоящей работе, однако алгоритм не лишён недостатков. На рисунке 3 представлен случай, когда такой алгоритм даёт неоптимальный результат.

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ОПТИМИЗАЦИИ**

В качестве дополнительной оптимизации был использован кэш. В кэше находятся наиболее часто используемые измененные данные. В него попадают все изменения, но остаются только наиболее часто используемые. Были рассмотрены две реализации кэша контекстно-зависимая и контекстно-инвариантная. В контекстно-зависимой реализации измененные данные покрываются прямоугольными множествами, и далее выполняется поиск вхождения этих покрытий в кэш. Эта реализация отвечает требованиям высокой эффективности по скорости работы кэша. В контекстно-независимой реализации строится максимальное покрытие измененных данных существующими элементами в кэше. Несмотря на то, что построение этого покрытия требует дополнительных вычислительных ресурсов, эта реализация дает максимально возможное использование данных из кэша, что отвечает требованиям минимизации отправляемых данных.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В работе реализованы оба алгоритма и протестированы в контексте задачи удаленного управления компьютером посредством портативных устройств, произведена оценка их эффективности. К преимуществам сеточного алгоритма можно отнести простоту реализации; он имеет наименьшую сложность из всех алгоритмов покрытия. Но недостатком является то, что в худшем случае он демонстрирует результат в четыре раза хуже оптимального решения.

Жадный алгоритм более сложен в реализации, но в условиях ограниченной пропускной способности сети он более эффективен, хотя в некоторых случаях явно уступает сеточному в построении наиболее компактного покрытия.

### **Литература**

1. Еремеев А. В., Заозерская Л. А., Колоколов А. А. Задача о покрытии множества: сложность, алгоритмы, экспериментальные исследования // Дискретный анализ и исследование операций. Сер. 2. 2000. № 2. С. 22–46.

# ВЛИЯНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАБЛЮДЕНИЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО КРИТЕРИЯ

С. Ю. Чернов

Последовательный подход [1] используется для статистического решения многих практических задач, в которых имеется необходимость проверки гипотетических предположений о параметрах исследуемого процесса. При выполнении модельных предположений такой подход требует в среднем меньшее число наблюдений для принятия решений среди всех возможных статистических критериев с такими же значениями вероятностей ошибок. Однако на практике искажения в предполагаемой модели могут оказать существенное влияние на значения вероятностных характеристик последовательных критериев. В [3] построен минимаксный робастный последовательный критерий для дискретного распределения вероятностей наблюдений. В [4] проведен анализ робастности, когда имеют место “засорения”, предложенные Тьюки и Хьюбером [2]. В данной работе закон распределения наблюдений отличается от распределения, используемого при построении теоретической модели, а в качестве меры различия используется  $L_1$  метрика. При указанных предположениях проведен анализ робастности вероятностных характеристик ПКОВ проверки двух простых гипотез и предложен способ повышения робастности ПКОВ.

Пусть на измеримом пространстве  $(\Omega, \mathfrak{F})$  наблюдается последовательность независимых одинаково распределенных случайных величин  $x_1, x_2, \dots \in \mathbf{R}$ , имеющих плотность распределения вероятностей  $f(x; \theta)$  с параметром  $\theta \in \Theta = \{\theta_0, \theta_1\}$ , истинное значение которого неизвестно. Обозначим функцию распределения вероятностей наблюдений  $x_i$ ,  $i = 1, 2, \dots$ , через  $F(x, \theta)$ ;  $\Lambda_n = \Lambda_n(x_1, \dots, x_n) = \sum_{t=1}^n \lambda_t$ , где  $\lambda_t = \lambda(x_t) = \ln(f(x_t, \theta_1)/f(x_t, \theta_0))$ . (1)

Относительно параметра  $\theta$  имеются две простые гипотезы  $H_0: \theta = \theta_0$ ,  $H_1: \theta = \theta_1$ . Для проверки данных гипотез используется последовательный критерий отношения вероятностей (ПКОВ) [1]:

$$N = \min\{n \in \mathbf{N} : \Lambda_n \notin (C_-, C_+)\}, \quad (2)$$

$$d = 1_{[C_+, +\infty)}(\Lambda_N), \quad (3)$$

где  $N$  – случайный момент остановки, после которого принимается решение  $d$  в соответствии с (3). В (2), (3)  $C_-, C_+ \in \mathbf{R}$ ,  $C_- < C_+$  – заданные параметры критерия, называемые порогами. На практике для их задания пользуются соотношениями [1]  $C_- = \ln(\beta_0/(1-\alpha_0))$ ,  $C_+ = \ln((1-\beta_0)/\alpha_0)$ , где  $\alpha_0, \beta_0 \in (0,1)$  – величины, близкие к приемлемым значениям вероятностей ошибок I и II рода.

Сформулируем следующие предположения: П1) функция  $f(x, \theta)$  имеет конечные производные 1-го и 2-го порядка по переменной  $x$ , а также  $f(x, \theta) \neq 0$ ,  $\theta \in \Theta$ ; П2) функция  $\lambda(x)$ , определенная (1), строго монотонна по переменной  $x$ , а также имеет отличную от нуля производную 1-го порядка.

Без ограничения общности будем считать, что истинной гипотезой является  $H_0$  (случай  $H_1$  рассматривается аналогично).

Для оценивания вероятностей ошибочных решений последовательного критерия (2), (3) воспользуемся подходом, изложенным в [5]. Разобьем интервал  $(C_-, C_+)$  на  $m$  промежутков длиной  $h = (C_+ - C_-)/m$ ,  $m \in \mathbf{N}$  – параметр разбиения (аппроксимации). Введем случайные последовательности ( $i \in \mathbf{N}$ ):

$$\Lambda_n^\pm = \sum_{t=1}^n \lambda_t^\pm; \lambda_1^- = C_- + \left[ \frac{\lambda_1 - C_-}{h} \right] h, \lambda_t^- = \left[ \frac{\lambda_t}{h} \right] h, t \geq 2; \lambda_i^+ = \lambda_i^- + h.$$

Построим поглощающие цепи Маркова  $L_n^-, L_n^+$  со множеством значений  $\{0, 1, \dots, m, m+1\}$  и поглощающими состояниями 0 и  $m+1$ :

$$L_n^- = \begin{cases} 0, & \Lambda_n^- \in (-\infty, C_- - h], \\ i, & \Lambda_n^- = C_- + (i-1)h, \quad i = \overline{1, m}, \\ m+1, & \Lambda_n^- \in [C_+, \infty), \end{cases} \quad L_n^+ = \begin{cases} 0, & \Lambda_n^+ \in (-\infty, C_-], \\ i, & \Lambda_n^+ = C_- + ih, \quad i = \overline{1, m}, \\ m+1, & \Lambda_n^+ \in [C_+ + h, \infty). \end{cases}$$

В соответствии с [5], векторы вероятностей начальных состояний и матрицы вероятностей переходов цепей Маркова  $L_n^-$  и  $L_n^+$  могут быть записаны в явном виде.

Пусть  $\alpha^-$  и  $\alpha^+$  – вероятности поглощения цепей Маркова  $L_n^-$  и  $L_n^+$  в состоянии  $(m+1)$ . В [5] показано, что вероятности  $\alpha^-$ ,  $\alpha$  и  $\alpha^+$  удовлетворяют неравенству  $\alpha^- \leq \alpha \leq \alpha^+$  и соотношению при  $h \rightarrow 0$   $\alpha^+ - \alpha^- = O(h)$ . Поэтому в качестве точечного приближения неизвестного значения  $\alpha$  выбирается  $\hat{\alpha}_m = (\alpha^+ + \alpha^-)/2$ , причем

$|\alpha - \hat{\alpha}_m| \leq (\alpha^+ - \alpha^-)/2$ . В дальнейшем вместо вероятности  $\alpha$  будем анализировать величины  $\alpha^-$  и  $\alpha^+$ .

Пусть наблюдения  $x_n$ ,  $n \in \mathbb{N}$ , имеют плотность распределения вероятностей  $h(x, \theta)$ , которая может отличаться от теоретической плотности распределения вероятностей  $f(x, \theta)$ . Однако известно, что расстояние в  $L_1$  метрике между  $h(x, \theta)$  и  $f(x, \theta)$  не превышает  $\varepsilon$ :

$$\int_{\mathbb{R}} |h(x, \theta) - f(x, \theta)| dx \leq \varepsilon, \quad (4)$$

где  $0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_0$ , причем величина  $\varepsilon_0$  задается заранее. Множество плотностей распределения вероятностей  $h(x, \theta)$ , удовлетворяющих (4) при фиксированном  $\varepsilon$ , обозначим  $L_1(f, \varepsilon)$ .

Цепи Маркова  $L_n^-$  и  $L_n^+$  в случае, когда наблюдения имеют плотность распределения вероятностей  $h(\cdot, \theta)$ , обозначим соответственно  $L_n^-(h)$  и  $L_n^+(h)$ . Пусть  $\alpha^-(h, \varepsilon)$  и  $\alpha^+(h, \varepsilon)$  – вероятности поглощения цепей Маркова  $L_n^-(h)$  и  $L_n^+(h)$  в состоянии  $m+1$ .

Пусть  $g_- = F^{-1}\left(\frac{\varepsilon}{2}\right)$ ,  $g_+ > \lambda^{-1}((m-1)h)$ . Обозначим

$$\bar{f}(x, \theta) = 1_{(g_-, +\infty)}(x) f(x, \theta) + \frac{\varepsilon}{2} \delta(x - g_+), \quad (5)$$

где  $\delta(\cdot)$  – дельта-функция Дирака [6].

**Теорема 1.** Если для искаженной модели наблюдений (4) выполнены предположения П1 и П2, то величины  $\alpha^+(h, \varepsilon)$ , удовлетворяют неравенству  $\alpha^+(h, \varepsilon) \leq \alpha^+(\bar{f}, \varepsilon)$ .

**Следствие 1.** Вероятность ошибки первого рода  $\alpha^+(\bar{f}, \varepsilon)$  монотонно возрастает по переменной  $\varepsilon$ , в частности, для любого  $\varepsilon$ ,  $0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_0$ , выполняется неравенство  $\alpha^+(\bar{f}, \varepsilon) \leq \alpha^+(\bar{f}, \varepsilon_0)$ .

Рассмотрим плотность распределения вероятностей

$$h^g(x, \theta) = 1_{[g_-, g_+]}(x) h(x, \theta) + \varepsilon_- \delta(x - g_-) + \varepsilon_+ \delta(x - g_+), \quad (6)$$

где  $g_-$  и  $g_+$  – заданные параметры усечения наблюдения, имеющего плотность распределения вероятностей  $h(x, \theta)$  и функцию распределения вероятностей  $H(x, \theta)$ ,  $\varepsilon_- = H(g_-, \theta)$ ,  $\varepsilon_+ = 1 - H(g_+, \theta)$ .

Пусть

$$\bar{f}^g(x, \theta) = 1_{[g_-, g_+]} f(x, \theta) + (\varepsilon_- - \varepsilon/2) \delta(x - g_-) + (\varepsilon_+ - \varepsilon/2) \delta(x - g_+).$$

Если  $h \in L_1(f, \varepsilon)$ , то  $h^g \in L_1(f^g, \varepsilon)$ , и следовательно,  $\bar{f}^g \in L_1(f^g, \varepsilon)$ .

**Теорема 2.** Если для искаженной модели наблюдений (6) выполнены предположения П1 и П2, то величины  $\alpha^+(h^g, \varepsilon)$ , удовлетворяют неравенству  $\alpha^+(h^g, \varepsilon) \leq \alpha^+(\bar{f}^g, \varepsilon)$ .

**Следствие 2.** Вероятность ошибки первого рода  $\alpha^+(\bar{f}^g, \varepsilon)$  монотонно возрастает по переменной  $\varepsilon$ , в частности, для любого  $\varepsilon$ ,  $0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_0$ , выполняется неравенство  $\alpha^+(\bar{f}^g, \varepsilon) \leq \alpha^+(\bar{f}^g, \varepsilon_0)$ .

### Литература

1. Вальд А. Последовательный анализ. М. 1960.
2. Хьюбер П. Робастная статистика. М. 1984.
3. Kharin A, Kishylau D. Robust sequential testing of hypotheses on discrete probability distributions // Austrian Journal of Statistics. V. 34. 2005. № 2. P. 153-162.
4. Charnou S. Sequential test robustifications for simple hypothesis under outliers. // Abstracts of the International Conference on Robust Statistics. Parma. 2009. P. 22.
5. Kharin A., Chernov S. Error Probabilities Evaluation for Sequential Testing of Simple Hypotheses on Data from Continuous Distribution // Proc. of the Pattern Recognition and Information Processing (PRIP). Minsk. 2009. P. 63–66.
6. Кудрявцев Л. Д. Курс математического анализа. М. 1981.

## ОБ ОЦЕНКЕ ПАРАМЕТРА ПОЛОЖЕНИЯ $\alpha$ – УСТОЙЧИВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ

Чэнь Хайлун

На основании свойства устойчивых распределений доказано равенство, для получения преобразования с  $\alpha$  – устойчивым распределением. Методом характеристических функций (CF) получаем оценки параметров  $\alpha$  и  $\sigma$ , затем с помощью преобразования предлагается метод оценки параметра положения  $\mu$   $\alpha$  – устойчивого распределения при  $\alpha \in (0; 2]$ .

### 1. МЕТОД CF ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ.

Случайная величина  $X$  называется устойчивой, если ее логарифм характеристической функции имеет вид:

$$\psi(\theta) = \ln(\varphi(\theta)) = \begin{cases} -\sigma^\alpha |\theta|^\alpha + i \left( \mu\theta + \sigma^\alpha |\theta|^\alpha \beta \operatorname{sign}(\theta) \tan \frac{\pi\alpha}{2} \right), & \alpha \neq 1, \\ -\sigma|\theta| + i \left( \mu\theta - \sigma|\theta| \beta \frac{2}{\pi} \operatorname{sign}(\theta) \ln|\theta| \right), & \alpha = 1. \end{cases} \quad (1)$$



где  $\varphi(\theta) = E \exp[i\theta X]$ ,  $\alpha \in (0, 2]$ ,  $\beta \in [-1, 1]$ ,  $\sigma > 0$ ,  $\mu \in R$ ,  $\theta \in R$ . В этом случае будем писать  $X \sim S_\alpha(\sigma, \beta, \mu)$ . Если в соотношении (1)  $\beta = 0$ , то устойчивые распределения называются симметричными.

Основная идея метода СФ состоит в том, чтобы по выборочным данным оценить характеристическую функцию. Затем используя действительную и мнимую часть логарифма характеристической функции оценить  $\alpha$ ,  $\sigma$  и  $\beta$ ,  $\mu$ . Однако, в связи с тем, что характеристическая функция  $\alpha$  – устойчивых распределений меняет вид при  $\alpha = 1$ , то трудно получить точную оценку параметра  $\mu$  (параметра положения).

## 2. МЕТОД ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРА ПОЛОЖЕНИЯ.

В настоящее время в литературе мало методов для оценки параметра  $\mu$ . Когда  $\alpha \rightarrow 1$  и  $\beta \neq 0$ , то сложно оценить  $\mu$ , и даже в случае  $\mu = 0$ , нет хорошего способа для точного оценивания  $\mu$ . В [1] даётся подходящая оценка параметра  $\mu$  в случае  $\alpha \in (1, 2]$ . Чтобы достичь подходящей оценки параметра  $\mu$  для случая  $\alpha \in (0, 2]$ , на основании свойства устойчивых распределений [1], используется следующая теорема:

**Теорема [2].** Пусть  $X_k$  – независимые одинаково распределенные устойчивые случайные величины с параметрами  $\alpha$ ,  $\sigma$ ,  $\beta$ ,  $\mu$ , т.е.  $X_k \sim S_\alpha(\sigma, \beta, \mu)$  тогда:

$$Z = \sum_{k=1}^n a_k X_k \sim S_\alpha \left( \left( \sum_{k=1}^n |a_k|^\alpha \right)^{1/\alpha} \sigma, \frac{\sum_{k=1}^n a_k^{\langle \alpha \rangle}}{\sum_{k=1}^n |a_k|^\alpha} \beta, \sum_{k=1}^n a_k \mu \right),$$

где  $a_k^{\langle \alpha \rangle} = \text{sign}(a_k) |a_k|^\alpha$ .

Из теоремы могут быть выведены 3 типа преобразований: ХС – центрирующее преобразование, ХD – выравнивающее преобразование, ХS – симметричное преобразование.

**Лемма 1.** Пусть  $X_k \sim S_\alpha(\sigma, \beta, \mu)$ ,  $k = \overline{1, n}$  и  $X_k^C \sim X_{3k} + X_{3k-1} - 2X_{3k-2}$ , тогда:

$$X_k^C \sim S_\alpha \left( (2 + 2^\alpha)^{1/\alpha} \sigma, \left( \frac{2 - 2^\alpha}{2 + 2^\alpha} \right) \beta, 0 \right);$$

*Доказательство.* В типе преобразования ХС  $a_1 = 1$ ,  $a_2 = 1$ ,  $a_3 = -2$ , то

$$\left( \sum_{k=1}^3 |a_k|^\alpha \right)^{1/\alpha} \sigma = \left( 1^\alpha + 1^\alpha + |-2|^\alpha \right)^{1/\alpha} \sigma = (2 + 2^\alpha)^{1/\alpha} \sigma,$$

$$\frac{\sum_{k=1}^3 a_k^{\langle \alpha \rangle}}{\sum_{k=1}^3 |a_k|^\alpha} \beta = \frac{1^\alpha + 1^\alpha - |-2|^\alpha}{1^\alpha + 1^\alpha + |-2|^\alpha} \beta = \frac{2 - 2^\alpha}{2 + 2^\alpha} \beta,$$

$$\sum_{k=1}^3 a_k \mu = (a_1 + a_2 + a_3) \mu = (1 + 1 - 2) \mu = 0.$$

Лемма доказана.

**Лемма 2.** Пусть  $X_k \sim S_\alpha(\sigma, \beta, \mu)$ ,  $k = \overline{1, n}$  и  $X_k^D \sim X_{3k} + X_{3k-1} - 2^{1/\alpha} X_{3k-2}$ , тогда:

$$X_k^D \sim S_\alpha(4^{1/\alpha} \sigma, 0, (2 - 2^{1/\alpha}) \mu)$$

*Доказательство.* В типе преобразования XD  $a_1 = 1$ ,  $a_2 = 1$ ,  $a_3 = -2^{1/\alpha}$ , то

$$\left( \sum_{k=1}^3 |a_k|^\alpha \right)^{1/\alpha} \sigma = \left( 1^\alpha + 1^\alpha + |-2^{1/\alpha}|^\alpha \right)^{1/\alpha} \sigma = 4^{1/\alpha} \sigma,$$

$$\frac{\sum_{k=1}^3 a_k^{\langle \alpha \rangle}}{\sum_{k=1}^3 |a_k|^\alpha} \beta = \frac{1^\alpha + 1^\alpha - |-2^{1/\alpha}|^\alpha}{1^\alpha + 1^\alpha + |-2^{1/\alpha}|^\alpha} \beta = \frac{2 - 2}{2 + 2} \beta = 0,$$

$$\sum_{k=1}^3 a_k \mu = (a_1 + a_2 + a_3) \mu = (1 + 1 - 2^{1/\alpha}) \mu = (2 - 2^{1/\alpha}) \mu.$$

Лемма доказана.

**Лемма 3.** Пусть  $X_k \sim S_\alpha(\sigma, \beta, \mu)$ ,  $k = \overline{1, n}$  и  $X_k^S \sim X_{2k} - X_{2k-1}$ , тогда:

$$X_k^S \sim S_\alpha(2^{1/\alpha} \sigma, 0, 0)$$

*Доказательство.* В типе преобразования XS  $a_1 = 1$ ,  $a_2 = -1$ , то

$$\left( \sum_{k=1}^2 |a_k|^\alpha \right)^{1/\alpha} \sigma = (|a_1|^\alpha + |a_2|^\alpha)^{1/\alpha} \sigma = (1^\alpha + |-1|^\alpha)^{1/\alpha} \sigma = (1 + 1)^{1/\alpha} \sigma = 2^{1/\alpha} \sigma,$$

$$\frac{\sum_{k=1}^2 a_k^{\langle \alpha \rangle}}{\sum_{k=1}^2 |a_k|^\alpha} \beta = \frac{\text{sign}(a_1)|a_1|^\alpha + \text{sign}(a_2)|a_2|^\alpha}{|a_1|^\alpha + |a_2|^\alpha} \beta = \frac{1^\alpha - |-1|^\alpha}{1^\alpha + |-1|^\alpha} \beta = \frac{1-1}{2} \beta = 0,$$

$$\sum_{k=1}^2 a_k \mu = (a_1 + a_2) \mu = (1 - 1) \mu = 0.$$

Лемма доказана.

Рассмотрим  $n$  независимых наблюдений  $X_1, \dots, X_n$  за случайной величиной  $X_k \sim S_\alpha(\sigma, \beta, \mu)$ .

Нетрудно заметить, что длина последовательности  $XS$  и  $XD$  это не более  $1/3$  длины исходной последовательности, а длина последовательности  $XS$  – не более  $1/2$  длины исходной последовательности. В связи с тем, что преобразование  $XD$  может преобразовать случайную последовательность  $X_k \sim S_\alpha(\sigma, \beta, \mu)$  в симметричное распределение  $X_k^D \sim S_{\alpha^D}(\sigma^D, 0, \mu^D)$  и  $\mu^D$  – медиана  $X_k^D$  [3], тогда:

$$\mu = \mu^D (2 - 2^{1/\alpha})^{-1}. \quad (2)$$

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ.

Учитывая, что длина последовательности должна быть кратна 3, смоделируем 9999 значений  $\alpha$  – устойчивой случайной величины  $S_\alpha(2, -0.9, 1)$  и оценим параметр положения  $\mu$  формула (2), при  $\alpha \in [0.2, 1.8]$  (см. рис. 1, 2).

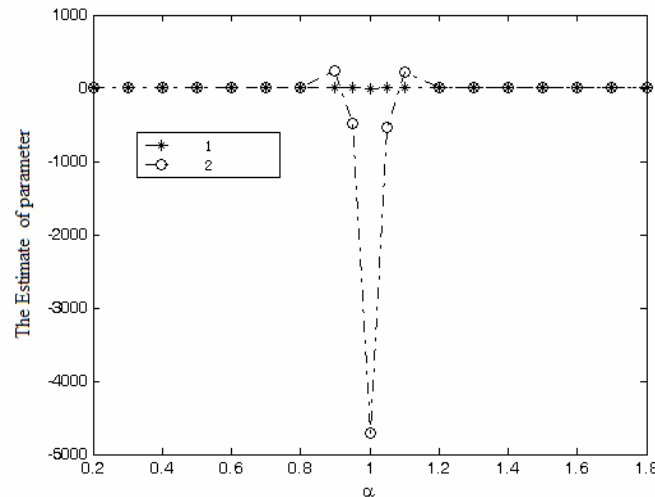


Рис.1. Оценка параметра  $\mu$  для  $S_\alpha(2, -0.9, 1)$ :  
1–метод статьи; 2–метод CF

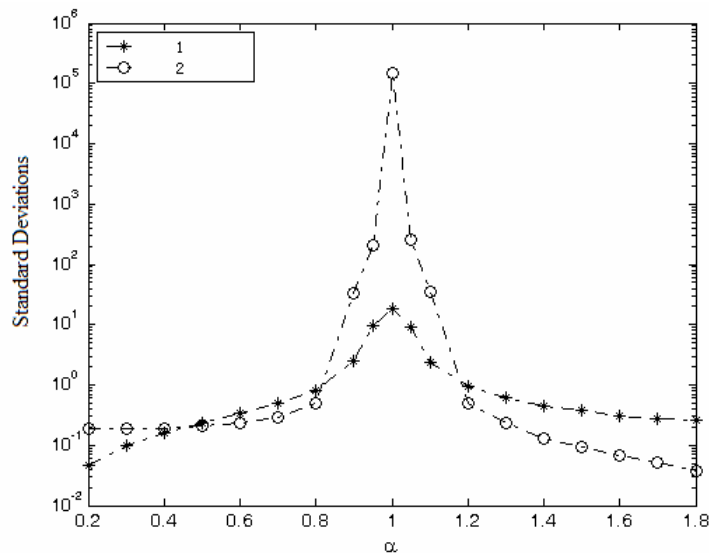


Рис.2. Стандартное отклонение параметра  $\mu$  для  $S_\alpha(2, -0.9, 1)$ :  
1–метод статьи; 2–метод CF

Для несимметричного распределения  $S_\alpha(2, -0.9, 1)$  метод оценки параметра положения  $\mu$  при  $\alpha$ , близким к 1, лучше метода CF.

### Литература

1. G. Samorodnitsky, M. Naqqu. Stable Non-Gaussian Random Processes: Stochastic Models with Infinite Variance. // Chapman and Hall. New York. London. 1994.
2. E. E. Kuruoglu. Density parameter estimation of skewed  $\alpha$ -stable distributions. // Signal Processing. IEEE Transaction on. Oct. 2001. 49(10). P. 2192–2201.
3. В. М. Золотарев. Одномерные устойчивые распределения. // В.М. Золотарев. М. Наука. 1983. С. 304.

## РАЗРАБОТКА РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМ НАДЁЖНОГО ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

В.О. Шукело

### ВВЕДЕНИЕ

В эпоху глобальной информатизации в обществе накапливается огромное количество информации в электронном виде, которое представляет интерес для будущего. В связи с этим возникает проблема надёжного сохранения накопленной информации. Технические устройства хранения данных не являются абсолютно надёжными. Кроме того для надёжного хранения данных не могут использоваться централизованные системы. Такие системы должны иметь распределенный характер.

В работе исследуется проблема построения корпоративных сетей с надёжным хранением данных в течение длительного периода времени с непрерывным доступом к ним. Децентрализованные сети предлагается строить на основе технологии распределенных хеш-таблиц.

## **РАСПРЕДЕЛЁННЫЕ ХЕШ-ТАБЛИЦЫ**

Для построения масштабируемых децентрализованных систем будем использовать распределённые хеш-таблицы DHT (Distributed Hash Table) – правила, по которым узлы связываются друг с другом и передают сообщения друг другу.

В DHT отсутствует явная иерархия между узлами. Все узлы считаются равноправными. Распределённая хеш-таблица состоит из  $M$  узлов – элементов, которые могут хранить данные и связываться с другими узлами. У каждого узла есть ключ  $K$  – строка из  $N$  бит, у каждого блока данных также есть ключ – также строка из  $N$  бит.

Ключи образуют метрическое пространство, вводящее понятие логического расстояния между узлами, между данными и между данными и узлами. Метрика может быть разной в зависимости от реализации DHT [1–2].

Для любого ключа среди всех узлов есть ближайший узел. Назовём его хозяином данного ключа  $K$ . Таким образом всё пространство ключей делится на  $M$  частей, у каждой части есть свой узел-хозяин.

Распределённая хеш-таблица – это децентрализованная отказоустойчивая масштабируемая сеть, каждый узел которой может для любого ключа быстро найти его хозяина. Гарантируется, что в правильно построенной сети от любого узла можно перейти к хозяину ключа  $K$  по связям между соседними узлами, при этом каждый следующий узел будет ближе предыдущего к нашему ключу  $K$ .

Различные DHT отличаются топологией и алгоритмом маршрутизации [3]. Выбор топологии определяет те ограничения, которые накладываются на соседей (сеть подбирает соседей автоматически, без участия администратора, и не любые два узла могут быть соседями).

Сеть состоит из узлов, которые связываются с соседями, а так же направляют поступающие сообщения своим соседям. Соседями могут быть только те узлы, ключи которых соответствуют определённым требованиям. Жёсткость этих требований позволяет регулировать отказоустойчивость сети – чем меньше подходящих узлов, тем меньше соседей (эффективнее работает сеть), но больше проблем в случае сбоя сети. Промежуточный вариант – содержание “пассивных” соседей, не использующихся по умолчанию, а вызываемых в случае сбоя.

Для достижения максимального быстродействия, каждое поступившее сообщение направляется соседу, определённом алгоритмом. Более жёсткие алгоритмы ускоряют доставку сообщений, но в случае выхода выбранного маршрута из строя снижается надёжность. Как и в случае с соседями, могут быть запасные, менее оптимальные варианты маршрутов, к которым узел переходит в случае неработоспособности основного варианта.

Чтобы сеть была отказоустойчивой, каждый узел должен “знать” больше соседей, чем требуется для корректной работы и “уметь” маршрутизировать сообщения неоптимальным путём, в обход сбоев.

### ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ РАБОТЫ СЕТИ

Предположим, что количество узлов сети постоянно (вышедшие из строя узлы мгновенно заменяются новыми), что количество единиц данных в сети постоянно (утерянные данные дополняются новыми), что на передачу/сохранение единицы данных затрачивается фиксированное время, что все данные имеют (должны иметь) равное заданное число копий, что полезная нагрузка на сеть отсутствует (её наличие можно симулировать увеличением времени на обработку единицы данных). Также разобьём время на дискретные отрезки, в течении которых будем считать, что каждый узел или работает нормально, или теряет все свои данные в начале этого отрезка времени. Данное требование может соответствовать требованию начинать процедуру восстановления после сбоев в определённые моменты времени.

Введём обозначения:  $n$  – число узлов,  $k$  – число копий для каждого данного,  $s$  – число файлов во всей сети (не считая копий),  $T_h$  – “период полураспада” одного узла, то есть время, за которое узел выйдет из строя с вероятностью  $\frac{1}{2}$ ,  $t$  – время обработки одной копии файла,  $T$  – “отчётный период” — время, для которого вычисляется количество потерянных данных. В каждом узле хранится  $sk/n$  копий данных. Значит, время обслуживания всех копий данных  $T_s = tsk/n$ . Вероятность выхода из строя одного узла за период  $T_s$  равна:  $f(T_h, T_s) = 1 - 2^{-T_s/T_h}$ . Вероятность выхода ровно  $m$  узлов за период времени  $T_s$  равна:  $f_m(T_h, T_s, n) = C_{n,m}(f)^m(1-f)^{n-m}$ .

Каждое данное присутствует на  $k$  узлах из  $n$ . Значит, общее количество вариантов распределения данных по узлам есть  $C_{n,k}$ . При выходе из строя  $m$  узлов теряется  $C_{n,k}$  возможных вариантов распределения. Поскольку данные распределяются по узлам случайным образом, то при

выходе из строя  $m$  узлов теряется  $L_m(n) = C_{mk} / C_{nk}$  от всех данных, то есть  $sL_m$  единиц данных. Учитывая случаи выхода  $0, 1, \dots, n$  узлов с соответствующими вероятностями и потерями данных, получаем, что за период времени  $T_s$  мы теряем единиц данных:

$$L_{T_s} = \sum_{i=0}^n f_i(s L_i)$$

Значит, за весь отчётный период мы потеряем единиц данных:

$$L_T(n, k, s, T_h, t) = \frac{T}{T_s} L_{T_s}.$$

## СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕТЕЙ ДЛЯ НАДЁЖНОГО ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

Общая схема системы моделирования приведена на рис.2. Основные объекты, с которыми работает эмулятор, это узлы, виртуальная сеть, виртуальные файлы, сообщения между узлами и генератор полезной нагрузки.

Моделирование начинается с построения сети. При создании каждого узла в очередь сообщений помещается специальное событие со случайным временем, вызывающее удаление создаваемого узла. Узлы создаются, устанавливают связи друг с другом, однако потом начинают исчезать. Взамен каждого исчезнувшего узла добавляется новый, с другим ключом. По сообщениям узлы распознают исчезнувших соседей и перестраивают связи.

В результате работы программы моделирования можно получать граф построенной сети, выводимый в текстовый файл, смотреть количество оставшихся файлов в моделируемой сети, разнообразные статистические параметры, выполняется визуализация графа сети.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технология распределённых хеш-таблиц — хорошая база для построения надёжных хранилищ данных. Использование программы моделирования позволит заранее оценить надёжность и характеристики сети в различных конфигурациях.

Это может быть полезно как при разработке самих алгоритмов обеспечения надёжности, так и для подбора параметров их работы перед развёртыванием настоящей, физической сети для хранения данных.



Рис.2. Интерфейс системы моделирования

### Литература

1. Kademlia [Электронный ресурс] // Википедия. Режим доступа: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Kademlia&oldid=340790072>.
2. Distributed Hash Table [Электронный ресурс] // Википедия. Режим доступа: [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Distributed\\_hash\\_table&oldid=341573197](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Distributed_hash_table&oldid=341573197).
3. Gummadi K. The Impact of DHT Routing Geometry on Resilience and Proximity [Электронный ресурс] // K. Gummadi, R. Gummadi, S. Gribble, S. Ratnasamy, S. Shenker, I. Stoica. Режим доступа: <http://www.cs.washington.edu/homes/gribble/papers/p1101-gummadi.pdf>.

## МОДЕЛИ РАСПОЗНАВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТНОГО И ЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

О. В. Шут

### ВВЕДЕНИЕ

Основные концепции теории распознавания приобретают все большее признание в качестве фактора, существенного для построения современных информационных систем. Соответствующие задачи являются объек-



тами междисциплинарных исследований, проводимых в рамках теории информации, статистики, физики, химии, лингвистики, психологии, биологии, физиологии и медицины [1].

В задаче распознавания используются два основных способа представления начальной информации:

- логический: представление информации в виде правил;
- прецедентный: представление информации путем непосредственного указания объектов.

Актуальной является задача разработки алгебраической конструкции, которая позволяла бы переходить от правил к множеству объектов обучающей выборки и от множества объектов к правилу.

## 1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Воспользуемся моделью описания объектов, предложенной в [2]. Пусть объект обладает  $n$  признаками, имеющими конечное множество значений. Будем называть такие признаки *номинальными* [3]. Обозначим через  $S_i$  множество признаков, из которого выбирается  $i$ -й признак, а через  $D_i$  – множество значений этого признака. *Объектом* будем называть отображение вида

$$p : S_1 \times S_2 \times \dots \times S_n \rightarrow D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n$$

Если объект  $p$  обладает признаками  $s_1, s_2, \dots, s_n$ , принимающими значения  $d_1, d_2, \dots, d_n$  соответственно, будем записывать это в виде

$$p(s_1, s_2, \dots, s_n) = (d_1, d_2, \dots, d_n)$$

Объекты будем считать *равными*, если множества их признаков равны, а значения соответствующих признаков совпадают.

*Набором объектов* или просто *набором* будем называть множество объектов, в котором все объекты обладают одними и теми же признаками.

Наборы  $P$  и  $Q$  будем считать *равными*, если для любого объекта, входящего в  $P$ , найдется равный ему объект, входящий в  $Q$ , и наоборот.

В [2] введены операции отрицания, умножения и сложения объектов и наборов и доказаны многие свойства этих операций.

В настоящей работе исследованы эквивалентность операций над объектами, обладающими номинальными признаками, булевым операциям, и полнота системы операций алгебры объектов. Разработаны алгоритмы перехода от логического представления информации к прецедентному и от прецедентного к логическому и дана оценка их сложности.

## 2. АЛГЕБРЫ ОБЪЕКТОВ И ЛОГИКИ

Исследуем соответствие операций над наборами объектов булевым операциям в классической алгебре логики. Для этого занумеруем все объекты и произвольному объекту  $p$  поставим в соответствие код

$$C(p) = (0 \dots 0 \quad 1 \quad 0 \dots 0),$$

где единица стоит в позиции, порядковый номер которой совпадает с номером этого объекта.

Каждому набору объектов сопоставим следующий код:

$$C(P) = \bigvee_{p \in P} C(p)$$

Соответствие между наборами (объектами) и их кодами является взаимно однозначным.

Будем считать операции алгебры объектов *эквивалентными* булевым операциям, если для любых наборов  $P$  и  $Q$  выполняются равенства:

$$C(P) \wedge C(Q) = C(P \wedge Q), \quad C(P) \vee C(Q) = C(P \vee Q), \quad \overline{C(P)} = C(\overline{P}).$$

**Теорема 1.** Операции  $\neg, \wedge, \vee$  в алгебре объектов, обладающих номинальными признаками, эквивалентны булевым операциям  $\neg, \wedge, \vee$ .

Исследуем полноту системы операций алгебры объектов. В [2] показано, что любой набор может быть представлен в виде суммы его объектов, а любой объект может быть представлен в виде произведения его признаков.

**Теорема 2.** Система операций над наборами  $\{\neg, \wedge, \vee\}$  является полной.

*Следствие 1.* Системы операций над наборами  $\{\neg, \wedge\}$  и  $\{\neg, \vee\}$  являются полными.

## 3. АЛГОРИТМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СПОСОБОВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Одним из основных способов представления начальной информации в задаче распознавания образов с обучением является указание правила, позволяющего отнести рассматриваемый объект к тому или иному классу объектов. Распространенным является представление такого правила в виде одной или нескольких функций алгебры логики, каждая из которых описывает принадлежность объекта конкретному классу.

Рассмотрим случай, когда все объекты имеют одинаковое число признаков, а все признаки принимают  $k$  значений из множества  $D = \{0, 1, \dots, k-1\}$ . Все прочие случаи легко сводятся к указанному.

Пусть правило  $\varphi$  описывает принадлежность объекта  $p$  классу  $Y$ . Запишем  $\varphi$  в виде

$$\varphi(d_1, \dots, d_n) = \begin{cases} k-1, p \in Y \\ 0, p \notin Y \end{cases}$$

Для перехода от логического представления к прецедентному, т.е. для построения набора объектов, описываемых правилом  $\varphi$ , были разработаны следующие алгоритмы:

- алгоритм на основе алгебры объектов (алгоритм  $A_1$ )
- алгоритм на основе алгебры логики (алгоритм  $A_2$ )

*Общая схема алгоритма  $A_1$ :*

1. Каждой переменной в  $\varphi$  ставится в соответствие объект.
2. Выполняются операции над объектами, соответствующие операциям  $k$ -значной логики в  $\varphi$ .
3. Если в  $\varphi$  используются не все признаки, то набор объектов, полученный на шаге 2, дополняется недостающими признаками.

*Общая схема алгоритма  $A_2$ :*

1. Правило  $\varphi$  приводится к виду СДНФ.
2. Каждой переменной в СДНФ ставится в соответствие объект.
3. Выполняются операции над объектами, соответствующие операциям в СДНФ.

Разработан также алгоритм для перехода от прецедентного представления множества объектов к логическому (алгоритм  $B$ ).

*Общая схема алгоритма  $B$ :*

1. Каждому признаку заданного набора объектов ставится в соответствие переменная.
2. Для каждого объекта выполняется конъюнкция переменных, соответствующих его признакам.
3. В качестве искомого правила берется дизъюнкция выражений, полученных на шаге 2.

Введем следующие обозначения:  $P = A_i(\varphi)$  – набор  $P$  является результатом алгоритма  $A_i$  для правила  $\varphi$ ;  $\varphi = B(P)$  – правило  $\varphi$  является результатом алгоритма  $B$  для набора  $P$ .

**Теорема 3.** Для произвольного правила  $\varphi$  и произвольного объекта  $p(s_1, s_2, \dots, s_n) = (d_1, d_2, \dots, d_n)$  справедливы утверждения:

1.  $\varphi(d_1, \dots, d_n) = k-1 \Leftrightarrow (B \circ A_i(\varphi))(d_1, \dots, d_n) = k-1$
2.  $p \in P \Leftrightarrow p \in (A_i \circ B(P))$

Таким образом, преобразования, производимые алгоритмами  $A_i$  и  $B$ , являются взаимно обратными.

Дадим оценку сложности разработанных алгоритмов. Пусть заданы наборы  $P$  и  $Q$ , содержащие  $r_1$  и  $r_2$  объектов и обладающие  $n_1$  и  $n_2$  признаками соответственно.

**Теорема 4.** Алгоритм  $A_1$  строит набор  $P \vee Q$  за  $N_1$  операций, где

$$N_1 = (k^{n_1} + k^{n_2})(r_1 + r_2) - r_1 r_2$$

**Теорема 5.** Алгоритм  $A_2$  строит набор  $P \vee Q$  за  $N_2$  операций, где

$$N_2 = k^{n-n_1} r_1 + k^{n-n_2} r_2$$

**Теорема 6.** Сложность алгоритма  $B$  составляет  $O(nr)$ , где  $r$  – количество объектов набора,  $n$  – количество признаков.

Если правило  $\varphi$  задано в виде ДНФ, то алгоритм  $A_2$  является более эффективным, чем алгоритм  $A_1$ . Однако в общем случае, если  $\varphi$  представляет собой произвольную функцию  $k$ -значной логики, предпочтительнее использовать алгоритм  $A_1$ , т.к. сложность первого этапа алгоритма  $A_2$  значительно возрастает.

Оценки сложности всех вышеописанных алгоритмов были подтверждены серией компьютерных экспериментов.

#### Литература

1. Гонсалес Р., Ту Дж. Принципы распознавания образов. М.: Мир. 1978. С. 412.
2. Рябцев А.В. Алгебры для представления обучающей информации в задачах распознавания образов. // Цифровая обработка. Мн. 2002. вып.6. С.80–94.
3. Интернет-адрес: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/969082>.
4. Яблонский С. В. Введение в дискретную математику. М.: Наука. 1986. С. 384.

## ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ЯВНОЙ РАЗНОСТНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ КВАЗИЛИНЕЙНОГО ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

Р. М. Якубук

При исследовании разностных схем одним из наиболее важных является вопрос устойчивости разностного решения относительно малого возмущения входных данных. Принципиальное отличие исследования устойчивости и монотонности в нелинейном случае заключается в необходимости дополнительного получения априорных оценок для всех производных, входящих в нелинейную часть. В [1–3] проводится краткий обзор работ по данному направлению, указывается важная взаимосвязь корректности, устойчивости и монотонности разностных задач. В [1]

проводится исследование устойчивости явной схемы, аппроксимирующей начально-краевую задачу для многомерного квазилинейного параболического уравнения с квадратичной нелинейностью. В [2] исследуется монотонность и устойчивость неявной разностной схемы для той же задачи. В [3] рассматривается устойчивость по отношению к возмущению начальных данных безитерационной неявной разностной схемы, аппроксимирующей начально-краевую задачу для одномерного квазилинейного уравнения. Особенно важно подчеркнуть, что все исследования проводятся только в предположении на входные данные задачи.

В цилиндрической области  $\bar{Q}_T = \bar{\Omega} \times \{0 \leq t \leq T\}$ ,  $\bar{\Omega} = \{x \in \mathbf{R}^p, x = (x_1, \dots, x_p), 0 \leq x_m \leq l_m, m = \overline{1, p}\}$ ,  $\bar{\Omega} = \Omega \cup \Gamma$ ,  $\Gamma$  – граница области  $\bar{\Omega}$ ,  $\Omega$  – внутренняя часть области,  $\Gamma_T = \Gamma \times \{0 \leq t \leq T\}$ ,  $Q_T = \Omega \times \{0 < t \leq T\}$ , рассмотрим краевую задачу

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \sum_{m=1}^p \frac{\partial}{\partial x_m} \left( k(u) \frac{\partial u}{\partial x_m} \right) + f(x, t), \quad (x, t) \in Q_T, \quad (1)$$

$$u(x, t)|_{\Gamma_T} = \mu(x, t), \quad u(x, 0) = u_0(x), \quad x \in \bar{\Omega}. \quad (2)$$

Уравнение (1) может быть записано в виде

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \Delta \Phi(u) + f(x, t), \quad (x, t) \in Q_T,$$

где  $\Delta u = \sum_{i=1}^p \frac{\partial^2 u}{\partial x_i^2}$ ,  $\Phi(u) = \int_a^u k(v) dv$ ,  $a = \text{const} \in \mathbb{R}$ .

Пусть  $\Phi$  удовлетворяет следующим условиям:

$$\exists \bar{D}_k \quad \forall v \in \bar{D}_k \quad 0 < \nu_1 \leq \Phi'(v) = k(v) \leq \nu_2 < \infty, \quad (3)$$

где  $\bar{D}_k$  – замкнутое связное подмножество  $\mathbb{R}$ , функция  $k(v)$  непрерывно дифференцируема на  $\bar{D}_k$ .

Кроме того, будем предполагать выполнение ограничений:

1°  $\Phi(u_0) \in C^4(\bar{\Omega})$ ,  $u_0 \in C(\bar{\Omega})$ ;  $\kappa_1 \leq u_0(x) \leq \kappa_2$ ,  $x \in \bar{\Omega}$ ,  $\kappa_3 \leq \mu(x, t) \leq \kappa_4$ ,  $(x, t) \in \Gamma_T$ , где  $\kappa_i = \text{const} \in \bar{D}_k$ ,  $i=1, 2, 3, 4$ .

2° Выполнено одно из условий

$$\forall v \in \bar{D}_k \quad k'(v) \geq 0 \quad \text{и} \quad \Delta \Phi(u_0) + f(x, 0) \leq -\varepsilon_1, \quad f \geq 0, \quad \frac{\partial f}{\partial t}, \frac{\partial \mu}{\partial t} \leq 0,$$

или

$$\forall v \in \bar{D}_k \quad k'(v) \leq 0 \quad \text{и} \quad \Delta\Phi(u_0) + f(x, 0) \geq \varepsilon_1, \quad f \leq 0, \quad \frac{\partial f}{\partial t}, \frac{\partial \mu}{\partial t} \geq 0,$$

где  $\varepsilon_1 = \text{const} > 0$ .

Здесь и далее, если это не оговорено особо, предполагается, что переменные  $x, t$  принадлежат тому подмножеству  $\bar{Q}_T$ , на котором определены все функции, входящие в выражение.

Если  $u_0, \mu, f$  являются достаточно гладкими функциями своих аргументов, начальные и граничные условия согласованы при  $x \in \Gamma, t = 0$ , выполнены условия (3) равномерной параболичности, области значений  $u_0, \mu$  являются подмножествами  $\bar{D}_k$ , то существует единственное обобщённое решение задачи (1), (2) [4, с. 513].

На сетке  $\bar{\omega}^{p+1} = \bar{\omega}_h \times \bar{\omega}_\tau$ ,  $\bar{\omega}_h = \{x_k = (x_1^{(i_1)}, \dots, x_p^{(i_p)}), x_k^{(i_k)} = i_k h_k, i_k = \overline{0, N_k}, h_k N_k = l_k, k = \overline{1, p}\}$ ,  $\bar{\omega}_\tau = \{t_n = n\tau, n = \overline{0, N_0}, \tau N_0 = T\} = \omega_\tau \cup \{0\}$ ,  $\omega^{p+1} = \omega_h \times \omega_\tau$  дифференциальную задачу (1), (2) аппроксимируем явной разностной схемой:

$$y_t = \sum_{m=1}^p \frac{1}{h_m^2} (\Phi(y_{(-1_m)}) - 2\Phi(y) + \Phi(y_{(+1_m)})) + f, \quad (x, t) \in \omega^{p+1}, \quad (4)$$

$$y|_{\gamma_h} = \mu(x, t), \quad x \in \gamma_h, \quad t \in \omega_\tau, \quad y|_{t=0} = u_0(x), \quad x \in \bar{\omega}_h. \quad (5)$$

Здесь и ниже мы используем следующие обозначения [5]:

$$\begin{aligned} y &= y(x, t), (x, t) \in \bar{\omega}^{p+1}, \hat{y} = y(x, t + \tau), \\ y_{(\pm 1_m)} &= y(x_{(\pm 1_m)}, t) = y(x_1, \dots, x_m \pm h_m, \dots, x_p, t), \\ y_t &= (\hat{y} - y)/\tau, y_{\bar{x}_m x_m} = (y_{(+1_m)} - 2y + y_{(-1_m)})/h_m^2, \\ y^n &= y(x, t_n), \mu^n = \mu(x, t_n), f^n = f(x, t_n), t_n = n\tau. \end{aligned}$$

Пусть для схемы (4), (5) верно следующее условие:

3° Выполнены следующие ограничения на шаги

$$h \leq h_0, \quad h = \max_{1 \leq m \leq p} h_m, \quad h_0 = \sqrt{12\varepsilon_1 / p\kappa}, \quad \kappa = \max_{1 \leq m \leq p} \left\| \frac{\partial^4 \Phi(u_0)}{\partial x_m^4} \right\|_{C(\bar{\Omega})}.$$

В следующей теореме приводятся оценки решения разностной схемы (4), (5).

**Теорема 1.** Пусть выполнены условия 1°–3° и

$$\min_{x \in \bar{\Omega}} u_0(x) = \kappa_1, \quad \max_{x \in \bar{\Omega}} u_0(x) = \kappa_2, \quad \|\mu\|_{C(\Gamma_T)} < \infty, \quad \|f\|_{C(Q_T)} < \infty.$$

Если для  $n = 0, \dots, N_0 - 1$

$$\max_{v \in [\kappa_1^n, \kappa_2^n]} k(v) \sum_{m=1}^p \frac{2\tau}{h_m^2} \leq 1,$$

где  $\kappa_1^n = \min_{x \in \gamma_h} \{\min \mu^n, \kappa_1\}$ ,  $\kappa_2^n = \max_{x \in \gamma_h} \{\max \mu^n, \kappa_2\}$ , то для  $n = 0, \dots, N_0$

$$\kappa_1^n \leq y^n \leq \kappa_2^n.$$

**Следствие.** При выполнении условий теоремы 1 для  $n = 0, \dots, N_0$

$$K_1 \leq y^n \leq K_2, \quad \text{где} \quad K_1 = \kappa_1^{N_0}, \quad K_2 = \kappa_2^{N_0}, \quad K_1, K_2 \in \bar{D}_k.$$

Рассмотрим дифференциальную задачу (1), (2) с возмущёнными начальными и граничными условиями и правой частью

$$\frac{\partial \tilde{u}}{\partial t} = \Delta \Phi(\tilde{u}) + \tilde{f}(x, t), \quad x \in \Omega, \quad 0 < t \leq T, \quad (6)$$

$$\tilde{u}(x, t)|_{\Gamma_T} = \tilde{\mu}(x, t), \quad \tilde{u}(x, 0) = \tilde{u}_0(x), \quad x \in \bar{\Omega}. \quad (7)$$

Аппроксимируем задачу (6), (7) разностной схемой

$$\tilde{y}_t = \sum_{m=1}^p \frac{1}{h_m^2} (\Phi(\tilde{y}_{(-1_m)}) - 2\Phi(\tilde{y}) + \Phi(\tilde{y}_{(+1_m)})) + \tilde{f}, \quad (x, t) \in \omega^{p+1}, \quad (8)$$

$$\tilde{y}|_{\gamma_h} = \tilde{\mu}(x, t), \quad x \in \gamma_h, \quad t \in \omega_\tau, \quad \tilde{y}|_{t=0} = \tilde{u}_0(x), \quad x \in \bar{\omega}_h. \quad (9)$$

Для задачи (6), (7) и схемы (8), (9) будем предполагать выполнение условий 1°–3°.

Для решения разностной схемы (8), (9) верны оценки такого же типа, как в теореме 1. Обозначим через  $\tilde{K}_1$ ,  $\tilde{K}_2$  нижнюю и верхнюю границы решения схемы (8), (9).

Введём обозначения

$$K_3 = \min \{K_1, \tilde{K}_1\}, \quad K_4 = \max \{K_2, \tilde{K}_2\}.$$

**Теорема 2.** Если выполнены условия 1°–3° для дифференциальных задач и аппроксимирующих их разностных схем и

$$\max_{v \in [K_3, K_4]} k(v) \sum_{m=1}^p \frac{2\tau}{h_m^2} \leq 1,$$

то разностное решение устойчиво по отношению к малым возмущениям начальных и граничных условий на временном интервале  $[0, T]$ .

### Литература

1. *P. Matus, S. Lemeshevsky* Stability and monotonicity of difference schemes for nonlinear scalar conservation laws and multidimensional quasi-linear parabolic equations // Comput. Meth. Appl. Math. 2009. Vol. 9. N. 3. P. 253–280.
2. *Матус П. П.* Устойчивость по начальным данным и монотонность неявной разностной схемы для однородного уравнения пористой среды с квадратичной нелинейностью // Дифференц. уравнения. 2010. Т. 46. № 7.
3. *P. Matus* Stability of difference schemes for nonlinear time-dependent problems // Comput. Meth. Appl. Math. 2003. Vol. 3. N. 2. P. 313–329.
4. *Ладыженская О.А., Солонников В.А., Уралцева Н.Н.* Линейные и квазилинейные уравнения параболического типа. М.: Наука. 1967.
5. *Самарский А. А.* Теория разностных схем. М.: Наука. 1989.



## ВЫСОКОЛИНЕЙНЫЕ МАЛОШУМЯЩИЙ УСИЛИТЕЛЬ И СМЕСИТЕЛЬ НА 1.8 ГГц

П. Н. Адамейко, В.В. Шляхтин

Данная работа посвящена созданию радиоприёмного тракта на кристалле, включающего в себя малошумящий усилитель (МШУ) и смеситель. Как известно, в последнее время очень быстро развиваются и совершенствуются системы беспроводной передачи данных. Составной частью таких систем являются мобильные радиоприёмные устройства. Проектирование микросхемы приёмного тракта таких устройств является сложной задачей [1], так как уровень напряжения питания является низким, ток потребления – малым. Кроме того, мобильные потребительские радиоприёмные устройства обладают небольшими размерами, соответственно, печатная плата, на которой расположена микросхема приёмного тракта, микросхемы цифровой логики также ограничена в размерах. В связи с этими факторами интенсивно разрабатываются новые схмотехнические и топологические решения, позволяющие сохранить параметры радиоприёмного тракта на высоком уровне, несмотря на низкое напряжение питания, малый ток потребления и небольшие размеры.

Структурная схема входной части приёмного тракта, предложенной в данной работе, приведена на рис.1.

Радиосигнал, принимаемый антенной, усиливается МШУ и транслируется смесителем на промежуточную частоту (ПЧ). Промежуточная частота равна разности частоты входного радиосигнала и частоты сигнала гетеродина ( $V_{\text{гет}}$ ). Соединение однофазного выхода МШУ и дифференциального входа смесителя осуществляется с помощью трансформатора

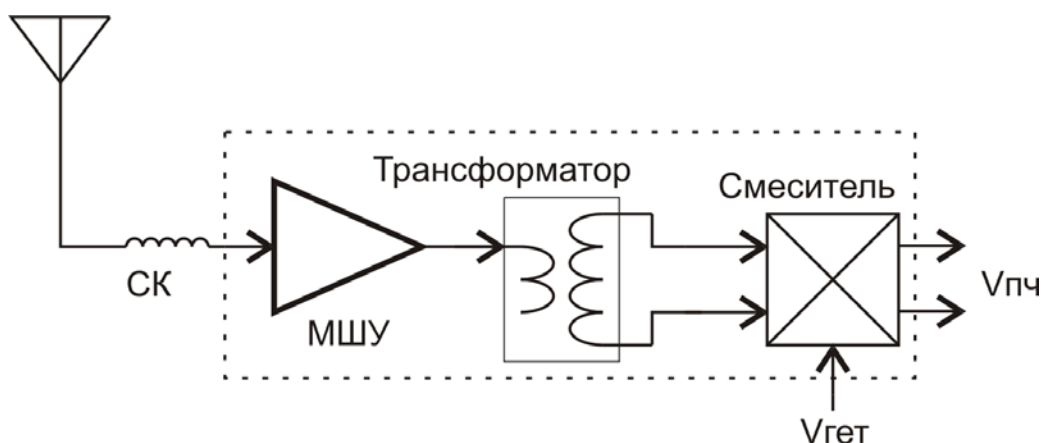


Рис. 1. Структура входной части приёмного тракта. Пунктирной линией обведены блоки разработанные в данной работе

тора, реализованного на кристалле. Интегральный трансформатора позволяет избавиться от необходимости использовать внешний трансформатор, что выгодно с точки зрения экономии места на печатной плате, хотя на кристалле он занимает площадь порядка  $700 \times 700$  мкм<sup>2</sup>. Единственным внешним элементом является катушка индуктивности СК, функция которой – обеспечить согласование входа МШУ на импеданс 50 Ом.

Структура малошумящего усилителя с подключённым к нему трансформатором представлена на рис. 2. Усилитель выполнен по схеме с общим эмиттером, так как данная схема включения транзистора позволяет обеспечить наименьший коэффициент шума. Входной сигнал  $V_{RFi}$  подаётся на базу транзистора Q1, на выходе трансформатора формируется дифференциальный сигнал  $V_{RFO}$ . Для увеличения линейности и получения вещественной части входного импеданса равной 50 Ом, в эмиттер транзистора Q1 включена катушка индуктивности L1. Каскадный МОП-транзистор M1 улучшает изоляцию входа от выхода, причём затвор транзистора по переменному сигналу привязан к общему проводу с помощью конденсатора C1. Это улучшает стабильность устройства.

Структура смесителя представлена на рис. 3. Сигнал с вторичной обмотки трансформатора поступает на вход дифференциальных пар Q1-Q2 и Q3-Q4. Дифференциальные пары, работающие поочерёдно, включают-ся сигналом гетеродина, который поступает на затворы транзисторов M1-M2 и M3-M4. Помимо функции включения-выключения соответствующей дифференциальной пары, транзисторы M1, M2 или M3, M4 во

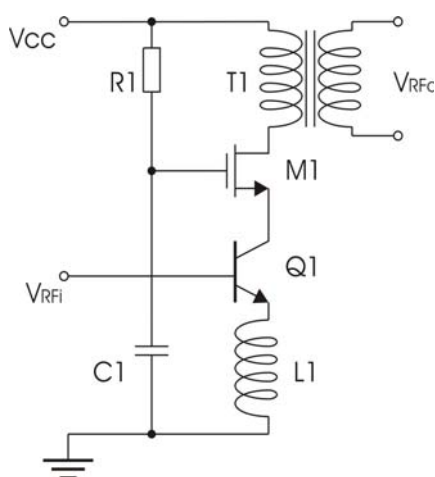


Рис. 2. Структура малошумящего усилителя

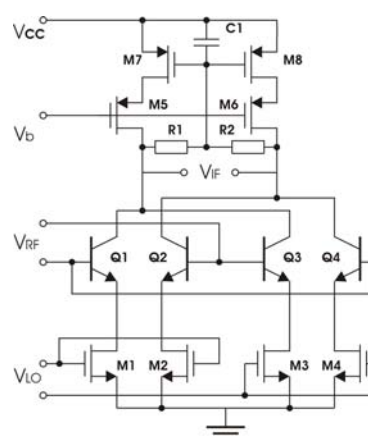


Рис. 3. Структура смесителя

включённом режиме линеаризуют передаточную характеристику соответствующей дифференциальной пары. Для того чтобы увеличить усиление смесителя в качестве нагрузки использованы источники тока, состоящие из транзисторов М7, М5 и М8, М6. Транзисторы М7 и М8 работают в триодном режиме, напряжение на их затворах равно синфазному напряжению на выходе смесителя.

В качестве элементной базы для МШУ и смесителя использовались компоненты из библиотеки технологии 0.24 мкм БиКМОП. Моделирование схемы проводилось с помощью симулятора Cadence SpectreRF. В качестве нагрузки к выходу смесителя присоединялись параллельно включённые резистор номиналом 2К и конденсатор величиной 500 фФ, имитируя входное сопротивление следующего за смесителем каскада. Частота входного сигнала составляет 1.8 ГГц, промежуточная частота равнялась 200 МГц. Характеристики схемы приёмного тракта, состоящего МШУ и смесителя, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметр	Значение
Коэффициент усиления по напряжению, дБ	27,5
Коэффициент S11, дБ	-14
Коэффициент шума, дБ	4,3
Мощность сигнала гетеродина, дБмВт	-13
Ток потребления МШУ, мА	4
Ток потребления смесителя, мА	4
Напряжение питания, В	2,5

Разработанная входная часть приёмного тракта может быть использована для создания мобильных систем, так как характеризуется малым током потребления, низким напряжением питания, небольшим коэффициентом шума и хорошей линейностью (по интермодуляционным искажениям третьего порядка).

### Литература

1. B. Razavi. RF Microelectronics /Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ 07458, 1998.

## УЗАЕМАДЗЕЯННЕ СВЯТЛА З ІЗАЛЯВАНЫМІ НАНАЧАСЦІНКАМІ НІКЕЛЮ

У. М. Багач, А. М. Панявіна

### УВОДЗІНЫ

Для стварэння эфектыўных сонечных элементаў на аснове арганічных паўправаднікоў неабходна развіць спосабы змянення аптычных характа-

Пры абмежаванні памераў металічных аб'ектаў у трох вымярэннях да нанаметровых маштабаў, апрамяненне электрамагнітнай хваляй выклікае калектыўныя электронныя ваганні на мяжы падзелу метал/дыэлектрык, якія называюць лакалізаванымі паверхневымі плазмонамі. Іх уласцівасці вызначаюцца памерамі, геаметрыяй металічных нанаструктур, а таксама аптычнымі характарыстыкамі асяроддзя [4].

У дадзенай рабоце даследуюцца рэзанансныя ўласцівасці ізаляваных наначасцінак нікелю ў празрыстым і паглынаючым асяроддзі.

Першасным элементам нанакампазітаў, з якім узаемадзейнічае выпраменьванне, з'яўляецца асобная часцінка. Матэрыял, з якога яна складаецца, яе памеры і форма вызначаюць спектральную вобласць рэзананснага паверхневага плазмоннага паглынання і асноўныя аптычныя ўласцівасці нанакампазіта.

89

Параўнанне праводзілася з разлікамі для іншых металаў, прыведзенымі ў рабоце [6].

На мал. 1 прыведзены разлічаныя спектры фактару эфектыўнасці паслаблення святла на асобных нанасферах Ni, размешчаных у непаглынаючым асяроддзі з каэфіцыентам праламлення 1,5. Разлікі праведзены для розных памераў наначасцінак без уліку ўнутраных памерных эфектаў. Як бачна, з павелічэннем памераў наначасцінак, плазмонны рэзананс зрушваецца ў бок павелічэння даўжынь хваляў; значэнне фактару эфектыўнасці ў максімуме неманатонна змяняецца з ростам памераў часцінак. Абсалютны максімум экстынцыі назіраецца для наначасцінак дыяметрам каля 120 нм, пры гэтым велічыня фактару паслаблення прыкладна ў 2 разы меншая за адпаведную максімальную велічыню для Au і Cu, і ў 3 разы меншая за фактар паслаблення ў абсалютным максімуме для Ag. Пры гэтым паласа ППР для Ni мае большую спектральную шырыню, чым для іншых металаў. Гэтых звестак не дастаткова, каб зрабіць выснову наконт прымянімасці наначасцінак Ni з мэтай узмацнення паглынання арганічных паўправаднікоў за кошт бліжнепалявых эфектаў. Для больш падрабязнага аналізу неабходна разлічыць бліжнепалявыя характарыстыкі такіх наначасцінак і ацаніць эфектыўнасць узмацнення паглынання арганічных паўправаднікоў пры ўвядзенні наначасцінак Ni.

#### **АПТЫЧНЫЯ ЎЛАСЦІВАСЦІ ІЗАЛЯВАННЫХ НАНАЧАСЦІНАК НІКЕЛЮ Ў ПАГЛЫНАЮЧЫМ АСЯРОДДЗІ**

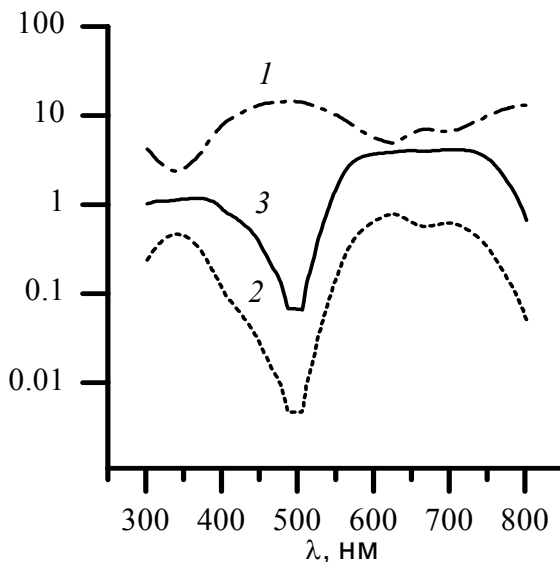
Для апісання бліжнепалявых уласцівасцей плазмонных наначасцінак уводзяць фактар расейвання ў бліжняй зоне  $Q_{NF}$ , які характарызуе эфектыўнасць сферычнай часцінкі пераўтвараць інтэнсіўнасць поля падаючай хвалі ў інтэнсіўнасць поля ў бліжняй ад часцінкі зоне [7]. Для зададзенай даўжыні хвалі і, адпаведна, пры пэўным значэнні ўяўнай часткі паказальніка праламлення матрыцы  $m_i$ , велічыня энергіі, паглынутага ў матрыцы, будзе ўзмацняцца з павелічэннем інтэнсіўнасці лакальнага поля. Узрастанне інтэнсіўнасці лакальнага поля найбольш заўважна ў абласцях празрыстасці асяроддзя побач з максімумам ППР. Адсюль выцякае, што эфектыўнасць павелічэння паглынання матрыцы дзякуючы ўвядзенню плазмонных наначасцінак, якую якасна можна характарызаваць здабыткам  $Q_{NF}m_i$ , у спектральных абласцях празрыстасці матрыцы можа апынуцца супаставімай з аналагічнай велічынёй для спектральных абласцей значнага матрычнага паглынання. Гэта было прадэманстравана ў разліках для наначасцінак Ag у матрыцы фталацыяніну медзі (CuPc), прадстаўленых у артыкуле [5].

На мал. 2 прадстаўлены разлік спектральнай залежнасці велічыні  $Q_{NF}m_i$  для ізаляваных наначасцінак Ni, размешчаных у матрыцы фталацыяніну медзі. Увядзенне наначасцінак Ni узмацняе паглынне плёнак CuPc, але не трансфармуе форму спектральнай залежнасці паглынання, як гэта назіралася для наначасцінак Ag.

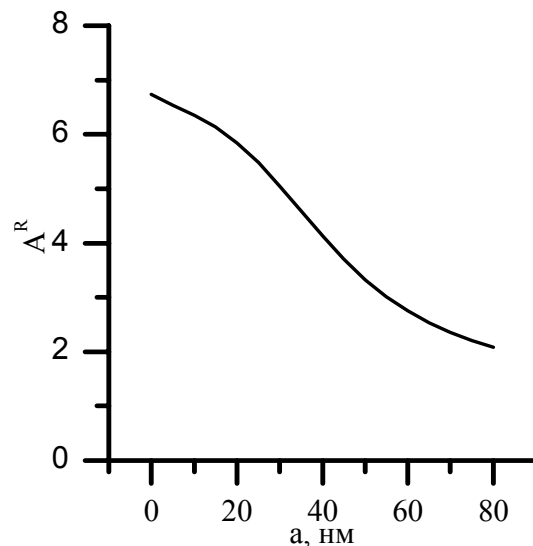
Найбольш поўна эфектыўнасць павелічэння паглынання матрыцы з дапамогай увядзення наначасцінак характарызуецца інтэгральным эфектам па ўсяму спектру. Для яе ацэнкі ўвядзем велічыню  $A^R = \frac{\int Q_{NF}^R(\lambda)m_i(\lambda)d\lambda}{m_i(\lambda)d\lambda}$ , якая апісвае ўзмацненне поля на адлегласці  $R$  ад цэнтру наначасцінкі.

Гэтыя разлікі, праведзеныя для Ni, прадстаўлены на мал. 3. Параўнанне можна правесці з разлікамі для Ag. Як было паказана ў [5] для Ag з ўлікам памернай залежнасці, велічыня  $A^R$  змяняецца неманатонна з ростам памераў часцінак, маеца нейкі аптымальны памер наначасцінак, пры якім узмацненне паглынання максімальнае. Без уліку памернай залежнасці адбываецца манатоннае памяншэнне велічыні  $A^R$  з ростам памераў часцінак. Форма гэтай крывой аднолькавая для срэбра і нікелю, але ў выпадку срэбра прыведзеная велічыня прыкладна ў 5 разоў большая ва ўсім інтэрвале змянення памераў часцінак. Такім чынам, ўзмацненне паглынання пры ўвядзенні Ni нашмат слабейшае.

Спецыяльнага даследавання патрабуе пытанне аб уплыве ўнутраных



Мал. 2. Спектральныя залежнасці  $Q_{NF}$  (1),  $m_i$  (2) і  $Q_{NF}m_i$  (3) для наначасцінкі Ni радыусам  $a=10$  нм без уліку памерных эфектаў



Мал. 3. Залежнасць велічыні  $A^R$  ад радыуса сферычных наначасцінак Ni, уведзеных у CuPc, без уліку памерных эфектаў

памерных ефектаў у наначасцінках нікелю, а таксама аб параўнанні тэхналагічнай і эканамічнай эфектыўнасці выкарыстання срэбра і нікелю.

### Літаратура

1. Metal and dielectric nanoparticle scattering for improved optical absorption in photovoltaic devices / P. Matheu, S.H. Lim, D. Derkacs, C. McPheeters, E.T. Yu // Appl. Phys. Lett. 2008. V.93. 113108.
2. Nakayama, K. Plasmonic nanoparticle enhanced light absorption in GaAs solar cells / K. Nakayama, K. Tanabe, H.A. Atwater // Appl. Phys. Lett. 2008. V.93. 121904.
3. Solanki, C.S. Advanced solar cell concepts / C.S. Solanki, G. Beaucharne // Energy Sustain. Developm. 2007. V.11. №3. P.17–23.
4. Борен, К. Поглощение и рассеяние света малыми частицами / Пер. с англ., К. Борен, Д. Хафмен. – М.: Мир, 1986. – 664 с.
5. Дынич, Р.А. Усиление локального поля вблизи сферических наночастиц в поглощающей среде / Р.А. Дынич, А.Н. Понявина, В.В. Филиппов // Журн. Прикл. Спектр. 2009. Т.76. №5. С.746–751.
6. Качан, С.М. Влияние когерентных резонансных взаимодействий на оптические свойства металл-диэлектрических наноструктур: дис. канд. физ.-мат. наук: 01.04.05 / С.М. Качан. – Мн., 2007. – 163 с.
7. Local fields at the surface of noble-metal microspheres / B.J. Messinger, K.U. von Raben, R.K. Chang, P.W. Barber // Phys. Rev. B. 1981. V.24. №2. P.649–657.

## ВЛИЯНИЕ ДИФФУЗИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПРОВОДНИК НА ЭФФЕКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ МАГНИТОКУМУЛЯТИВНОГО ГЕНЕРАТОРА

**В. В. Гавриловец, В. В. Тихомиров.**

### ВВЕДЕНИЕ

Магнитокумулятивные генераторы (МКГ) являются уникальными мощными компактными устройствами, позволяющие получать большие значения тока и напряженности магнитного поля. Особый интерес представляет изучение состояния вещества в экстремальных условиях, осуществляемые в результате работы МКГ, а также использование МКГ в качестве компактного, мощного источника тока. Теоретическое рассмотрение работы МКГ делает необходимым учет омических потерь и потерь магнитного потока в процессе его работы. Большое влияние на потери оказывает перераспределение тока и магнитной энергии по проводящим частям конструкции МКГ, существенно усложняющее расчет потерь в МКГ [1]. Развита модель учитывающая, нагрев, нелинейную магнитную диффузию и внутренние потери магнитного потока.

## 1. РАЗБИЕНИЕ ПРОВОДЯЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

МКГ состоит из статора (спиральной обмотки), внутри неё расположена арматура (металлическая труба), внутри арматура заполнена взрывчатым веществом (ВВ). Статор через арматуру замкнут на некоторую индуктивную нагрузку. Перед работой в МКГ создается некоторый начальный магнитный поток и производится подрыв с одного из торцов лайнера. Арматура начнет расширяться и постепенно замкнет все витки статора. Магнитное поле между статором и арматурой «сожмется», что приведет к росту тока в электрической цепи статор-арматура-нагрузка.

Для детального расчета сопротивления МКГ статор разделяется на отдельные эквивалентные круговые контуры витков спирали, связанные гальванически и арматура разделяется на независимые эквивалентные контуры колец. Данное разделение позволит максимально точно рассчитать индуктивность МКГ и правильно учесть сопротивление каждого контура в системе уравнений для контуров витков статора и контуров колец арматуры:

$$\sum_i M_{ij} \frac{dI_j}{dt} + \sum_i \frac{dM_{ij}}{dt} I_j + \Omega_i I_i = U_i ,$$

где  $L_i = M_{ii}$  – собственная индуктивность контура,  $\Omega_i$  – сопротивление контура,  $M_{ij}$  – взаимная индуктивность контуров  $i, j$ ,  $U_i$  – напряжение на контуре (гальваническая связь), напряжение на контурах колец арматуры равна нулю, так как они связаны с другими контурами только индуктивно.

## 2. МОДЕЛИ СОПРОТИВЛЕНИЯ.

Для расчета сопротивления применялись два различных метода: расчет через толщину скин-слоя и с помощью нелинейной магнитной диффузии.

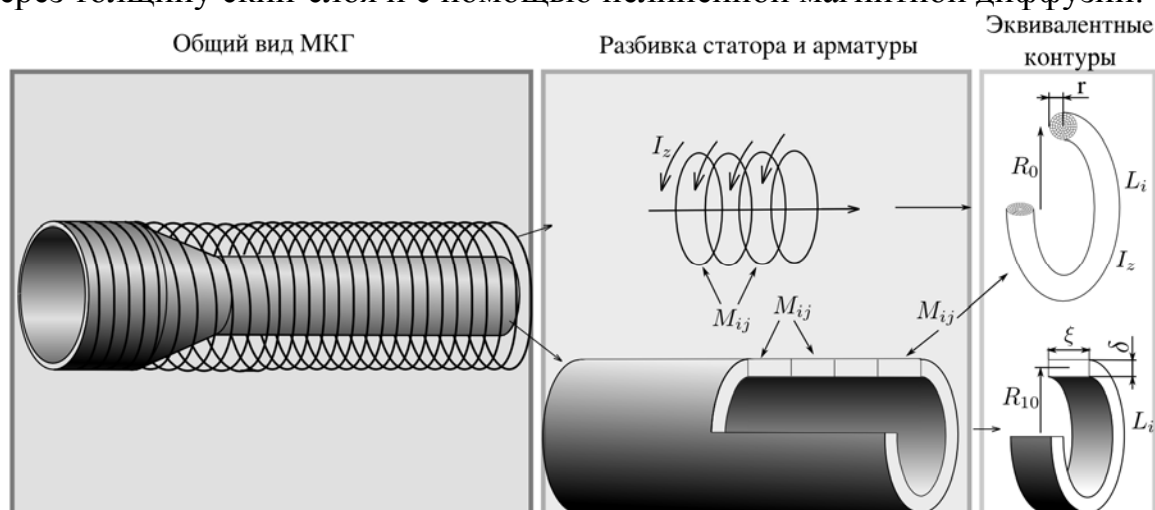


Рис. 1. Общий вид и разделение проводящих конструкций МКГ



## 2.1 Скин-слой

Толщина классического скин-слоя [2] определяется из формулы:

$$\frac{\rho}{\delta} = k \sqrt{\frac{dI(t)/dt}{I(t)}},$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление,  $\delta$  – толщина скин-слоя,  $I(t)$  – ток в эквивалентном контуре,  $k$  – коэффициент равный.

В этом случае считается, что ток течет в проводнике равномерно и только в слое, толщина которого равна толщине скин-слоя рис. 2.

Данный метод применим, когда не происходит существенного нагрева проводника.

## 2.2 Нелинейная магнитная диффузия

Для корректного учета нагрева была разработана модель расчета сопротивления с учетом нелинейной магнитной диффузии в проводник.

В [3] предложен метод расчета сопротивления как отношение омических потерь к квадрату тока в эквивалентном контуре. Анализ показал, что для данной модели необходимо также учитывать потери на диффузию энергии магнитного поля в проводник. Тогда формула для эффективного сопротивления (реальная часть комплексного сопротивления в [4]) примет вид:

$$\Omega = \frac{\sum_{k=1}^n (\mathcal{Q}_k^{t+h_t} - \mathcal{Q}_k^t + W_k^{t+h_t} - W_k^t)}{I^2 h_t},$$

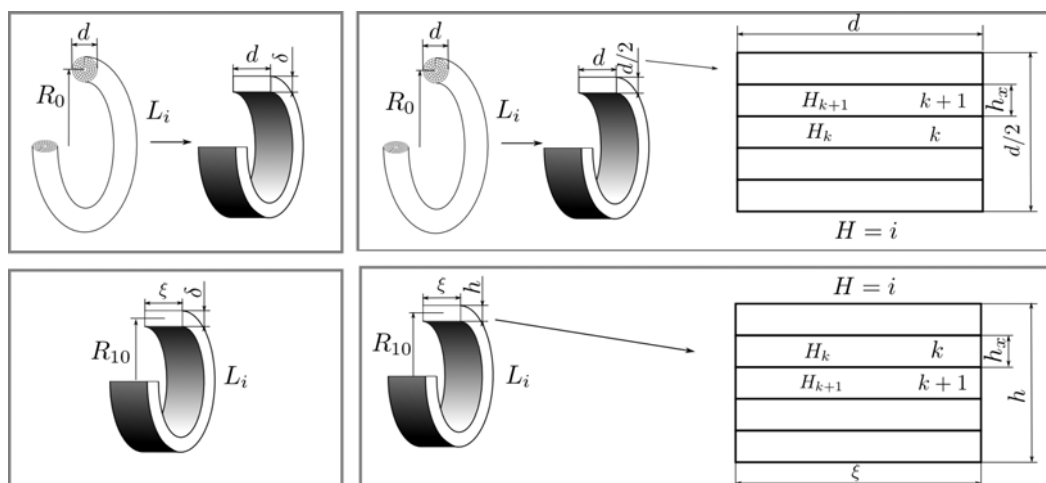


Рис. 2. Представление эквивалентных контуров витков статора и колец арматуры для расчета эффективного сопротивления МКГ для метода расчета через толщину скин-слоя и для метода через нелинейную магнитную диффузию.

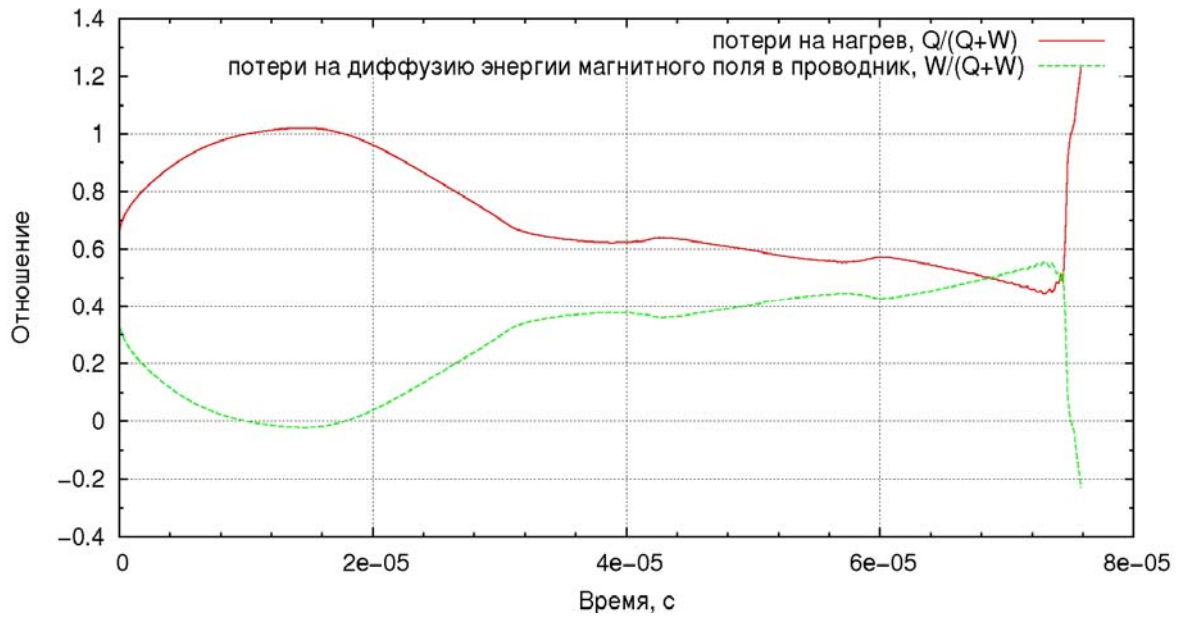


Рис. 3. Соотношение потерь энергии на нагрев и диффузию энергии магнитного поля в проводник к их сумме (потерям энергии на эффективном сопротивлении)

где  $Q$  – энергия, теряемая на нагреве проводника,  $W$  – диффундировавшая энергия магнитного поля в проводник,  $h_t$  – шаг итерации по времени,  $I$  – ток в контуре,  $n$  – число пластин, на которое разделяется поперечное сечение проводника контура рис. 2.

В модели сделано упрощение, что для контуров витков статора в поперечном сечении ток течет в пластинке длиной, равной диаметру провода витка и толщиной равной радиусу провода витка.

Как показано на рис. 3, соотношение потерь энергии при нагреве и диффузии различно для разных стадий работы МКГ. В случае падения тока в контуре, диффузионные потери становятся отрицательными и уменьшают эффективное сопротивление контура.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью разработанной модели было объяснено увеличение потерь магнитного потока на последней стадии работы МКГ, когда при расчете сопротивления через толщину скин-слоя теоретическая кривая перестала описывать эксперимент. Модель для расчета сопротивления через нелинейную магнитную диффузию для МКГ, с плотной намоткой обмотки статора, показывает совпадение с экспериментальной кривой производной тока в пределах инструментальной погрешности вплоть до областей с сильно проявленной нелинейной магнитной диффузией.

## Литература

1. Сытова С. Н., Тихомиров В. В., Черкас С. Л. «Одномерная и двумерная модели спирального магнитокумулятивного генератора: численный анализ и сравнение с экспериментом»// Фундаментальные и прикладные физические исследования. 2002-2009 гг.: сб. науч. тр./ под редакцией В. Г. Барышевского. Минск: БГУ, 2009. С. 327-335.
2. Кнопфель Г. «Сверхсильные импульсные магнитные поля» / Пер. с англ. – М.: Мир. – 1972. 391 с.
3. Novac B. M., Smith I. R., Enache M. C. «Accurate Modeling of the Proximity Effect in Helical Flux-Compression Generators»// IEEE Transactions on plasma science, vol. 28, no. 5, october 2000 P. 1353-1355.
4. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. «Электродинамика сплошных сред»./ М.: Физматгиз, 1959. 532 с.

## ДИНАМИКА ОСЦИЛЛОНА И СТОЛКНОВЕНИЕ КИНКОВ В МОДЕЛИ ПОТЕНЦИАЛА $\lambda\phi^4$

А. А. Голованов

### 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задачей настоящей работы является анализ динамических процессов в пертурбативном и непертурбативном секторах модели с двукратным симметричным потенциалом в пространстве-времени размерности  $1+1$  с помощью численных методов. Рассмотрена временная эволюция непертурбативных возмущений тривиального сектора осцилонного типа, проанализирован механизм взаимодействия топологически нетривиальных конфигураций солитонного типа (кинков). Полученные в работе результаты полностью согласуются с имеющимися в литературе данными.

### 2. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

С момента осознания в середине 60-х годов прошлого века важности роли непертурбативных классических решений солитонного типа, был достигнут весьма существенный прогресс в их исследовании и практическом применении. На сегодняшний день одно из наиболее важных практических применений солитонов – это передача данных по оптическим каналам связи. Они распространяются по световодам без искажений и позволяют достичь терабитной скорости передачи. Описание вихревых состояний в сверхпроводниках второго рода в рамках абелевой модели Хиггса привлекло интерес исследователей к солитонным решениям в классической теории поля [1]. Солитоны также используются в исследованиях элементарных частиц в моделях фундаментальных взаимодействий, список соответствующих объектов

открывает решение Скирма, особый интерес в последнее время вызывают конфигурации типа инстантонов, монополей, а также непертурбативные топологически нетривиальные решения в теории струн [1,2].

Чаще всего возникающие уравнения поля из-за наличия нелинейности не интегрируются и требуют численного решения. Запишем волновое уравнение для действительного скалярного поля в пространстве-времени размерности  $n+1$ .

$$-\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + \Delta^n \phi = F(\phi). \quad (1)$$

Функция  $F(\phi)$  определяет модель потенциала, которую мы рассматриваем. Для классической интегрируемой модели синус-Гордон (SG)  $F(\phi) = \sin(\phi)$ . Для модели  $\lambda\phi^4$  функция  $F(\phi)$  имеет вид  $F(\phi) = \lambda(\phi^2 - a^2)$ . Известно, что любая физическая система стремится к минимуму энергии, поэтому лишняя энергия испускается в виде излучения. Любой начальный профиль для уравнения (1), задаваемый задачей Коши, приведет либо к стабильному статическому решению плюс поле излучений, либо полностью распадется вследствие непрерывного перехода энергии в излучение [3].

Решение уравнения Богомольного с данным потенциалом:

$$\frac{d\phi}{dx} = \pm \sqrt{2U(\phi)}, \quad (2)$$

назовем статическим кинком (со знаком  $+$ ) и статическим антикинком

(со знаком  $-$ ). Энергия решения локализована в пространстве. Во многих

случаях топологические свойства решений определяются простым числом  $N$ , называемым топологическим зарядом. Состояние с зарядом  $N=1$  является энергетически минимальным. Кинк обладает топологическим зарядом, т.к. его нельзя свести непрерывными деформациями к тривиальному вакууму. Его часто называют топологическим солитоном [4]. Получить статическое решение для кинка можно и из уравнений Эйлера-Лагранжа. Запишем лагранжиан системы:

$$L = \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial \phi}{\partial t} \right)^2 - \left( \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 - \lambda(\phi^2 - a^2)^2 \right]. \quad (3)$$

Граничные условия имеют вид  $\phi(\pm\infty) = \pm a$ . Откуда:

$$\phi(x) = a \tanh(\sqrt{2\lambda}a(x + C_2)). \quad (4)$$

В общем случае гессиан солитонной системы (вторая вариация энергии) обладает конечным числом отрицательных и нулевых собственных значений, а также бесконечно большим числом положительных [2]. Соответствующие им собственные функции называются отрицательными, нулевыми и положительными модами. Кинк в  $\lambda\varphi^4$  обладает двумя нулевыми дискретными модами – трансляционной и вибрационной, а также

непрерывным спектром положительных мод [2].

В интегрируемых моделях при взаимодействии кинков нет потерь на излучение. В классической модели SG взаимодействие описывается аналитической функцией. В неинтегрируемых моделях, как например, потери энергии на излучение есть. При этом в зависимости от начальной скорости кинки могут как отталкиваться друг от друга, так и аннигилировать. Процесс столкновения можно считать хаотическим [3]. Причина такого поведения связана с резонансными эффектами между колебаниями дискретных вибрационных мод кинка-антикинка.

При аннигиляции кинков рождается другой объект – осциллон. Его нельзя описать аналитически, поэтому он был сравнительно недавно открыт при помощи численного анализа. Осциллон совершает одинаковые по амплитуде незатухающие колебания в течении большого (но не бесконечного) промежутка времени. В модели 1+1 осциллон абсолютно стабилен. Осциллон не обладает топологическим зарядом. Решение можно получить другими способами, начиная решать уравнение (1) например с гауссового профиля [3]:

$$\varphi = \varphi_{\infty} + (\varphi_c - \varphi_{\infty})e^{-\frac{x^2}{x_0^2}}. \quad (5)$$

Мы применили следующую неявную схему (модификацию метода креста):

$$\frac{u_j^{k+1} - 2u_j^k + u_j^{k-1}}{dt^2} = \frac{u_{j+1}^{k+1} - 2u_j^{k+1} + u_{j-1}^{k+1}}{dx^2} + f(u_j^k). \quad (6)$$

Отметим, что данный метод не является консервационным (симплектическим), поэтому он не обеспечивает сохранение энергии. Для более аккуратного решения гиперболических уравнений нужно использовать метод характеристик: дискретизируем пространственную переменную и оставим непрерывным время. Тогда получим систему из N обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка, которую можно

решить методом Рунге-Кутты или для еще большей точности любым многошаговым неявным методом [5,6].

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Создадим в системе гауссовый профиль (5). При этом мы знаем, что лишняя энергия должна уйти в виде излучения, а оставшаяся энергия - это колебания осциллона. Динамика и зависимость амплитуды колебаний осциллона от времени представлена на Рис. 1. Цветовые диаграммы процесса аннигиляции и отталкивания представлены на Рис. 2.

### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе представлены результаты численного анализа динамических процессов в пертурбативном и непертурбативном секторах модели с двукратным потенциалом в пространстве-времени размерности 1+1. Используемые в работе компьютерные программы и методы будут применяться при дальнейшем исследовании динамики классических и квантовых солитонов в различных нелинейных системах и физических моделях.

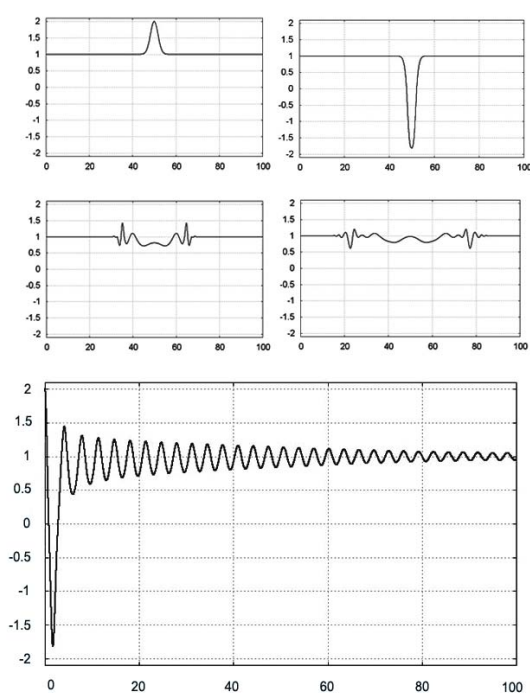


Рис. 1. Колебания осциллона

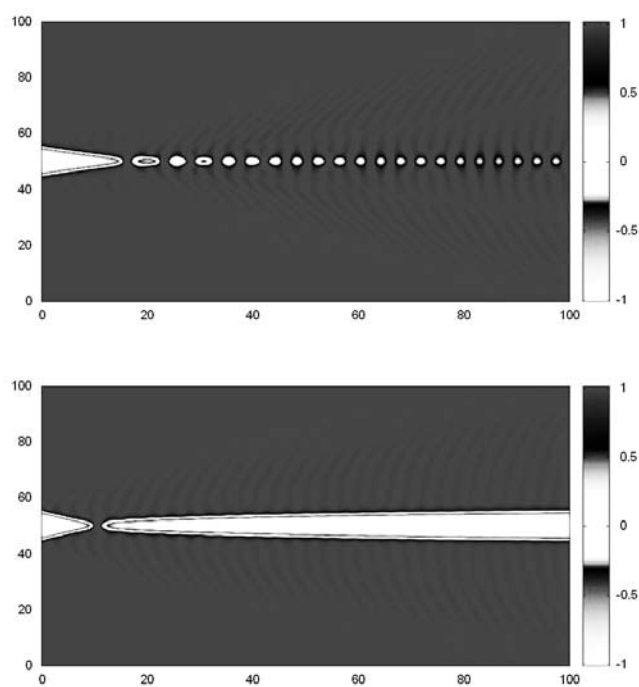


Рис. 2. Цветовая диаграмма столкновения  
а – аннигиляция; б – отталкивание

## Литература

1. *Belavin A. A., Polyakov A. M., Shvarts A. S., Tyupkin Y. S.* Pseudoparticle Solutions of the Yang-Mills Equations // *Phys. Lett. B* 59. 1975. С. 85.
2. *Vachaspati T.* Kinks and domain walls: An introduction to classical and quantum solitons // Cambridge University Press. Cambridge. England. 2006. 192 с.
3. *Fodor G., Forgacs P., Grandclement P., Racz, I.* Oscillons and quasi-breathers in the Klein-Gordon model // *Phys. Rev. D*. 74. 2006. [arXiv: hep-th/0609023].
4. *Manton N. S., Sutcliffe P. M.* Topological solitons // Cambridge University Press. Cambridge. England. 2004. 504 с.
5. *Ильина В. А., Силаев П. К.* Численные методы для физиков-теоретиков // Т.2. Институт компьютерных исследований. Москва-Ижевск. 2004. 118 с.
6. *Gustafsson B., Kreiss H., Olinger J.* Time dependent problems and difference methods // Willey. New York. USA. 1995. 642 с.

## РЕДОКС-РЕГУЛЯЦИЯ КЛЕТОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ: РОЛЬ ИОНОВ ВОДОРОДА И КАЛЬЦИЯ

Е. Н. Голубева

Окислительно-восстановительные (редокс-) процессы играют важную роль в поддержании нормальной функциональной активности клеток. В клетке постоянно функционируют механизмы, в результате работы которых происходит образование и утилизация окислителей и в определенных пределах изменяется величина отношения между внутриклеточными концентрациями окислителей и восстановителей, т.е. поддерживается редокс-гомеостаз. Нарушение редокс-гомеостаза является сопутствующим признаком развития многих заболеваний, включая атеросклероз, диабет, рак, болезнь Альцгеймера, ишемическую болезнь сердца [1]. В свою очередь активация ряда физиологических окислительно-восстановительных процессов сопровождается изменениями величины внутриклеточного или внеклеточного pH. Развитие ряда заболеваний сопровождается ацидозом или алкалозом. В этих условиях функциональный ответ клеток на действие окислителей и антиоксидантов может значительно отличаться от функционального ответа клеток в норме. Одним из ранних ответов сигнальных систем на изменение концентрации окислителей во многих типах клеток также является повышение внутриклеточной концентрации несвязанного кальция. Регуляция внутриклеточной концентрации несвязанного кальция представляет один из способов передачи внеклеточной информации на внутриклеточные эффекторы. Высвобождение  $\text{Ca}^{2+}$  из кальциосом при действии окислителей может иметь регуляторное значение и протекать при физиологических условиях. Выход  $\text{Ca}^{2+}$  из митохондрий при действии окислителей происходит при патофизиологи-

ческих условиях и служит важным звеном в механизмах гибели клеток. Изменения внутриклеточной концентрации несвязанного кальция играют ключевую роль в запуске и регуляции общих и специализированных клеточных функций, таких как пролиферация, рост, экспрессия генов, иммунный ответ, синаптическая пластичность, а также контроль метаболизма и гибель клеток [1; 2].

Несмотря на то, что зависимость активности отдельных участников регуляции кальциевого, рН и редокс-гомеостазов от величины внутриклеточного рН и параметров редокс-состояния не вызывает сомнений, взаимосвязь между процессами регуляции кислотно-основного состояния, редокс-состояния и кальциевой сигнализации клеток не обоснована. В связи с этим целью данной работы было изучить роль ионов  $H^+$  и  $Ca^{2+}$  в механизмах редокс-регуляции клеточных процессов, а также установить взаимосвязь между параметрами редокс-гомеостаза, рН гомеостаза и  $Ca^{2+}$ -гомеостаза.

В работе использованы эритроциты здоровых доноров, а также клетки карциномы гортани человека линии НЕр-2. Флуоресцентные измерения проведены с использованием спектрофлуориметра LSF 1211А («СОЛАР», Республика Беларусь). Определение параметров редокс-состояния клеток проводилось на основе анализа скорости окисления 2,7-дихлородигидрофлуоресцеина ( $H_2DCF$ ). Величину внутриклеточного рН определяли с помощью флуоресцентного зонда 2,7-бикарбоксил-5(6)-карбоксифлуоресцеина (BCECF). Для мониторинга изменений внутриклеточной концентрации несвязанного кальция использовался флуоресцентный зонд Fura 2-AM.

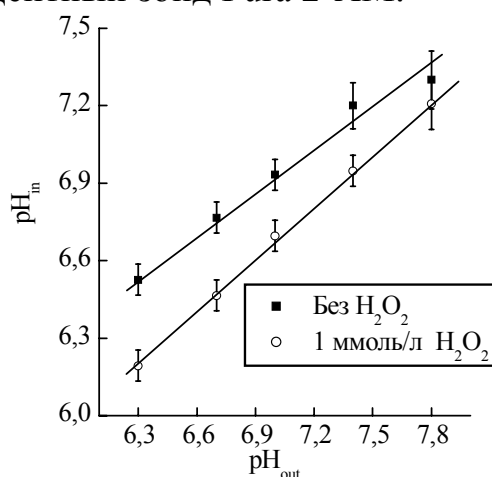


Рис. 1. Зависимость величины внутриклеточного рН ( $pH_{in}$ ) от величины внеклеточного рН ( $pH_{out}$ ). Концентрация эритроцитов в 1 мл –  $5 \times 10^6$



На основании анализа скорости окисления  $\text{H}_2\text{DCF}$  пероксидом водорода в эритроцитах показано, что снижение величины внеклеточного рН приводит к усилению окислительных процессов в клетках. Установлено, что снижение величины внеклеточного рН приводит к уменьшению величины внутриклеточного рН. В солевых буферных растворах со значениями  $\text{pH}=6,3\div 7,2$  пероксид водорода вызывает большие изменения величины внутриклеточного рН, чем в растворах со значениями  $\text{pH}=7,4\div 7,8$  (рис. 1). Также показано, что усиление окислительных процессов в клетках сопровождается снижением величины внутриклеточного рН. Таким образом, установлена взаимосвязь между параметрами кислотно-основного и редокс-состояний.

Для углубления представлений о взаимосвязи различных механизмов регуляции функциональных ответов клеток особый интерес представляет изучение действия химических агентов, способных участвовать как в процессах редокс-регуляции, так и в процессах регуляции рН гомеостаза. Нами показано, что одним из таких агентов является аскорбиновая кислота. Установлено, что аскорбиновая кислота (АК) вызывает скачкообразное изменение внутриклеточной концентрации несвязанного кальция в клетках карциномы гортани человека НЕР-2. Величина изменения  $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{цит}}$  увеличивается при увеличении концентрации аскорбиновой кислоты (рис. 2).

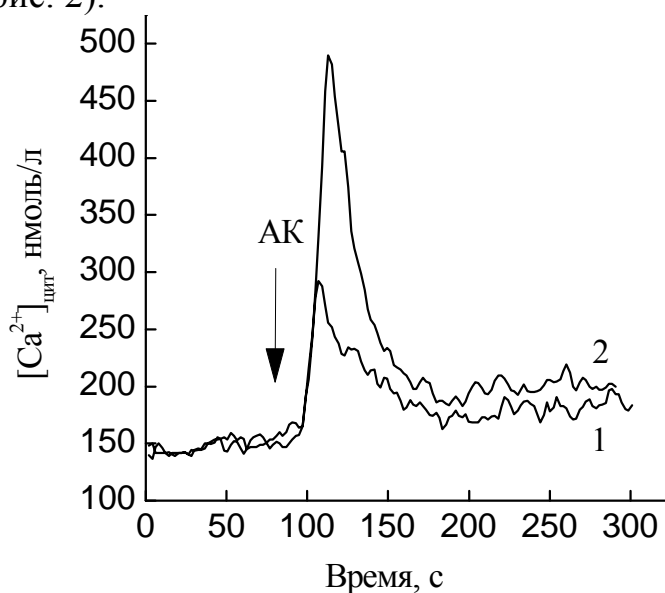


Рис. 2. Влияние аскорбиновой кислоты на внутриклеточную концентрацию несвязанных ионов  $\text{Ca}^{2+}$  в клетках НЕР-2. Концентрация клеток карциномы человека НЕР-2 в 1 мл —  $2,5 \times 10^6$

1 — 5 ммоль/л АК, 2 — 10 ммоль/л АК.

Обнаружено, что аскорбиновая кислота вызывает дозозависимое снижение величины внутриклеточного рН в клетках карциномы человека линии НЕр-2. Величина повышения внутриклеточной концентрации несвязанных ионов  $\text{Ca}^{2+}$  зависит от величины изменения рН. Большему изменению величины внутриклеточного рН соответствует большее изменение  $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{цит}}$ . В свою очередь установлено, что АК индуцирует высвобождение ионов кальция в цитозоль из митохондрий опухолевых клеток.

Антимицин А (ингибитор переноса электронов в комплексе III дыхательной цепи митохондрий) приводит к увеличению амплитуды и длительности аскорбат-индуцированного кальциевого ответа. Антимицин А в концентрациях до 15 мкмоль/л не вызывает изменений  $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{цит}}$ . После действия аскорбиновой кислоты добавление антимицина А в суспензию клеток индуцирует резкое увеличение  $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{цит}}$ . Однако ротенон (ингибитор переноса электронов в комплексе I дыхательной цепи митохондрий) ингибирует аскорбат-индуцированный кальциевый ответ как в присутствии, так и в отсутствии антимицина А.

На основании проведенных исследований можно предположить, что аскорбат-индуцированное высвобождение ионов кальция в цитозоль из митохондрий клеток НЕр-2 происходит с участием активных форм кислорода (АФК). АК служит донором электронов для комплекса III электрон-транспортной цепи митохондрий, что приводит к генерации АФК. Ротенон блокирует данный процесс за счет ингибирования переноса электрона в комплексе I. Снижение внутриклеточного рН при действии АК приводит к усилению окислительных процессов в клетке, поэтому после действия аскорбиновой кислоты увеличение внутриклеточной концентрации несвязанного кальция антимицином А наблюдается даже при низких концентрациях ингибитора.

В свою очередь показано, что изменения кальциевого гомеостаза клеток могут индуцировать генерацию АФК опухолевыми клетками. Показано, что вход ионов кальция через плазматическую мембрану и высвобождение ионов кальция из внутриклеточных депо приводит к генерации АФК опухолевыми клетками.

Таким образом, установлено, что увеличение концентрации окислителей в клетках приводит к увеличению концентрации ионов водорода (снижению рН). Величина параметров редокс-состояния зависит как от внеклеточного, так и от внутриклеточного значения рН. Экспериментально установлена взаимосвязь между параметрами редокс- и рН гомеостазов. Также показано, что АК индуцирует высвобождение ионов кальция из митохондрий опухолевых клеток. Аскорбиновая кислота приводит к увеличению внутриклеточной концентрации ионов  $\text{H}^+$ , а также индуцирует генерацию

АФК комплексом III дыхательной цепи митохондрий. Таким образом, действие аскорбиновой кислоты опосредовано как ее кислотными, так и донорно-акцепторными свойствами. Также показано, что увеличение концентрации несвязанных ионов кальция в цитоплазме приводит к модификации редокс-гомеостаза клеток.

#### Литература

1. *Мартинovich Г.Г., Черенкевич С.Н.* Окислительно-восстановительные процессы в клетках: Монография. Мн.: БГУ, 2008.
2. *Крутецкая З. И., Лебедев О. Е., Курилова Л.С.* Механизмы внутриклеточной сигнализации: Монография. СПб.: Изд-во С. Петерб. Ун-та, 2003.

### ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В ПРОЦЕССАХ РОЖДЕНИЯ ПАР СЛАБЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ БОЗОНОВ ФЕРМИОНАМИ

**О. Ю. Кичакова, Т. В. Шишкина**

Общепринятой моделью электрослабого взаимодействия является модель Глешоу-Вайнберга-Салама. Стандартная Модель, которая в настоящее время с высокой степенью точности описывает все имеющиеся экспериментальные данные. Тем не менее, в современной науке сформировалось устойчивое представление о том, что Стандартная Модель является лишь низкоэнергетическим пределом некоторой более общей калибровочной модели.

Причиной такого предположения является прежде всего феноменологическая структура самой модели. В ней присутствует много свободных параметров, невыяснена причина возникновения поколений кварков и лептонов, а также их число, до сих пор не подтвержден механизм возникновения масс частиц и не открыт бозон Хиггса.

Современный этап развития ускорительной техники позволяет исследовать взаимодействие фермионов и бозонов при энергиях, достигающих 1 ТэВ и выше. При столь значительных энергиях и постоянно растущей точности экспериментальных измерений существует обоснованная перспектива зарегистрировать отклонения от Стандартной Модели электрослабого взаимодействия, а также определить направление построения расширенной калибровочной группы.

Рассмотренный в работе процесс  $W^+W^-$ -рождения представляет интерес с точки зрения поиска отклонений от стандартной модели, поскольку является существенно электрослабым. Помимо того, при изучении этого процесса в рамках неминимальных калибровочных групп появляются дополнительные диаграммы, и проверка соответствующего им дополнительного вклада представляет прямой тест конкретной группы.

Процесс  $e^+e^- \rightarrow W^+W^-$  в рамках Стандартной модели описывается тремя диаграммами Фейнмана. Первая диаграмма иллюстрирует ход процесса

при испускании виртуального фотона, вторая – виртуального  $Z^0$ -бозона, третья – через испускание виртуального нейтрино.

С учетом явных видов трехбозонных вершин и правил Фейнмана матричный элемент данного процесса принимает вид:

$$M = i\bar{U}(-p_2) \left[ \left( g^{\alpha\beta} (k_1 - k_2)^\lambda + g^{\beta\lambda} (-k - k_1)^\alpha + g^{\lambda\alpha} (k + k_2)^\beta \right) \times \right. \\ \times \left( e^2 \frac{\gamma_\lambda}{k^2} + \frac{eg}{2} \gamma^\mu (g_V + g_A \gamma^5) \frac{g_{\mu\lambda} - k_\mu k_\lambda / m_Z^2}{k^2 - m_Z^2} \right) \times \\ \left. - \left( \frac{g}{\sqrt{2}} \right)^2 \gamma^\alpha \frac{1 - \gamma^5}{2} \frac{\hat{p}_1 - \hat{k}_1}{(p_1 - k_1)^2} \gamma^\beta \frac{1 - \gamma^5}{2} \right] U(p_1) \varepsilon_\beta(k_1) \varepsilon_\alpha(k_2) \quad (1)$$

где  $k = p_1 + p_2$  – полный 4-импульс начальных частиц.

Квадрат модуля матричного элемента имеет вид:

$$|M|^2 = \frac{e^4}{s^2} A(s, t) + (g_V^2 - g_A^2) \frac{e^2 g^2}{4(s - m_Z^2)^2} A(s, t) - \frac{e^2 g^2}{4st} B(s, t) + \\ + g_V \frac{e^3 g}{s^2(s - m_Z^2)} A(s, t) - g_V \frac{eg^3}{4(s - m_Z^2)t} B(s, t) + \frac{g^4}{64t^2} C(s, t) \quad (2)$$

где введены переменные Мандельстама  $s = (p_1 + p_2)^2$  и  $t = (p_1 - k_1)^2$  и  $g_V = -\frac{1}{2} + 2 \sin^2 \theta_W$ ,  $g_A = -\frac{1}{2}$ ,  $\theta_W$  – угол Вайнберга.

Коэффициенты  $A$ ,  $B$  и  $C$  равны:

$$A = \frac{1}{2} \sum_{r_1} \sum_{r_2} \left( g^{\alpha\beta} (k_1 - k_2)^\lambda + g^{\beta\lambda} (-k - k_1)^\alpha + g^{\lambda\alpha} (k + k_2)^\beta \right) \times \\ \times \left( \left( g^{\rho\sigma} (k_1 - k_2)^\mu + g^{\rho\mu} (-k - k_1)^\sigma + g^{\mu\sigma} (k + k_2)^\rho \right) \right) \times \\ \times \bar{U}(-p_2) \gamma_\lambda U(p_1) \bar{U}(p_1) \gamma_\mu U(-p_2) \varepsilon_\beta(k_1) \varepsilon_\alpha(k_2) \varepsilon_\rho(k_1) \varepsilon_\sigma(k_2), \quad (3)$$

$$B = \frac{1}{2} \sum_{r_1} \sum_{r_2} \left( g^{\alpha\beta} (k_1 - k_2)^\lambda + g^{\beta\lambda} (-k - k_1)^\alpha + g^{\lambda\alpha} (k + k_2)^\beta \right) \bar{U}(-p_2) \gamma_\lambda U(p_1) \times \\ \times \bar{U}(p_1) \frac{1 - \gamma^5}{2} \gamma_\rho (\hat{p}_1 - \hat{k}_1) \frac{1 - \gamma^5}{2} \gamma_\sigma U(-p_2) \varepsilon_\beta(k_1) \varepsilon_\alpha(k_2) \varepsilon_\rho(k_1) \varepsilon_\sigma(k_2) \quad (4)$$

$$C = \frac{1}{2} \bar{U}(-p_2) \gamma^\alpha \frac{1 - \gamma^5}{2} (\hat{p}_1 - \hat{k}_1) \gamma^\beta U(p_1) \bar{U}(p_1) \frac{1 - \gamma^5}{2} \times \\ \times \gamma_\rho (\hat{p}_1 - \hat{k}_1) \frac{1 - \gamma^5}{2} \gamma_\sigma U(-p_2) \varepsilon_\beta(k_1) \varepsilon_\alpha(k_2) \varepsilon_\rho(k_1) \varepsilon_\sigma(k_2) \quad (5)$$

Дифференциальное сечение рассеяния:

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{|M|^2}{16\pi s(s - m_W^2)}, \quad (6)$$

Полное сечение находим следующим интегрированием по всему конфигурационному пространству:

$$\sigma(s) = \frac{1}{16\pi s(s - m_W^2)} \int_{t^-}^{t^+} dt |M(s, t)|^2, \quad (4)$$

где пределы интегрирования равны:

$$t^- = m_W^2 - \frac{s}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{s(s - 4m_W^2)}, \quad t^+ = m_W^2 - \frac{s}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{s(s - 4m_W^2)}. \quad (7)$$

Явный вид коэффициентов  $A$ ,  $B$  и  $C$  для неполяризованных частиц:

$$A(s, t) = \frac{1}{2} \left( 12m_W^4 - 24m_W^2 t - 8m_W^2 s + 12t^2 + 12st + 21s^2 - \right. \\ \left. - 8st^2 / m_W^2 - 10s^2 t / m_W^2 - 5s^3 / m_W^2 + s^2 t^2 / m_W^4 - s^3 t / m_W^4 \right), \quad (8)$$

$$B(s, t) = \frac{1}{2} \left( 3m_W^4 - 12m_W^2 t - 19m_W^2 s + 15t^2 + 8st + 2s^2 - \right. \\ \left. - 9st^2 / m_W^2 - 7s^2 t / m_W^2 + s^3 / m_W^2 + 2s^2 t^2 / m_W^4 + 2s^3 t / m_W^4 \right), \quad (9),$$

$$C(s, t) = \frac{1}{4} \left( 3m_W^2 s - 20m_W^4 + 27m_W^2 t + 4t^2 - 11st - \right. \\ \left. - 14st^2 / m_W^2 - 9t^3 / m_W^2 - 2st^3 / m_W^2 - 2s^2 t^2 / m_W^4 - 2t^4 / m_W^4 \right). \quad (10)$$

Для анализа полученных зависимостей введем следующие переменные:

$$x \equiv -\frac{2p_1 k_1}{(k_1 - k_2)^2}, \quad y \equiv \frac{p_1(k_1 - k_2)}{p_1 k_1}. \quad (11)$$

В случае продольно поляризованных бозонов полученные коэффициенты значительно упрощаются:

$$A_{\parallel}(s, t) = C_{\parallel}(s, t) = \frac{1}{2m_W^4} (s^2 t^2 + m_W^4 s^2 - s^3 t - m_W^2 s^2 t), \quad (12)$$

$$B_{\parallel}(s, t) = -A_{\parallel}(s, t) = \frac{1}{2m_W^4} (s^3 t + m_W^2 s^2 t - s^2 t^2 - m_W^4 s^2). \quad (13)$$

Основные результаты выполненного исследования иллюстрируют рисунки 1-2, на которых представлены дифференциальные и полные сечения электрон-позитронной аннигиляции в пару слабых заряженных бозонов. При выполнении численных расчетов были избраны параметры и характеристики планируемых экспериментов на Международном Линейном Коллайдере (ILC). Исследование показало, что дифференциальное сечение процесса растет с ростом энергии а соответствующее полное сечение выходит на так

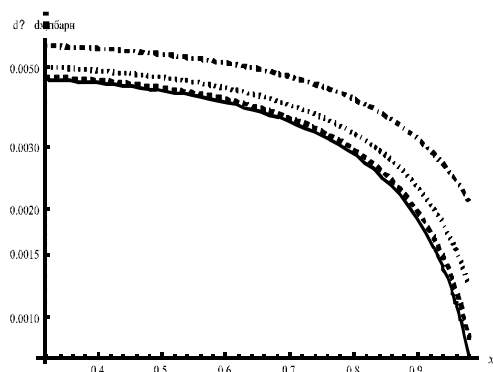


Рис.1. График зависимости дифференциального сечения  $d\sigma/dx$  от параметра  $x$  для неполяризованных частиц

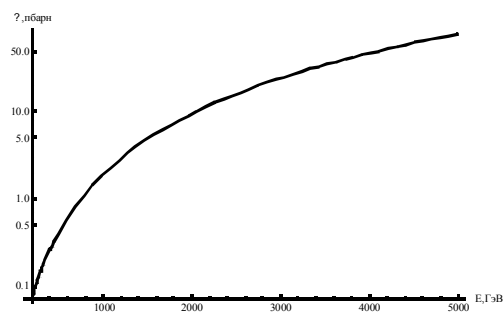


Рис.2. График зависимости полного сечения от энергии для неполяризованных частиц

называемое «плато». Оно существенно зависит от геометрии вылета конечных частиц, а также от спиновой конфигурации фермионов и бозонов. Исследование вклада в сечение, обусловленного учетом поляризации начальных фермионов и (или) конечных бозонов обнаружило, что его величина имеет заметное значение на фоне вклада, соответствующего сечению взаимодействия неполяризованных частиц. Последнее означает, что экспериментальное исследование поляризуемостей и асимметрий различного рода (поляризационных, зарядово-поляризационных, а также обусловленных направлением вылета конечных частиц) значительно расширяют набор экспериментально измеряемых величин и делает исследуемый процесс инструментом прецизионного анализа калибровочной группы электрослабого взаимодействия. Рассматриваемые физические характеристики процесса имеют столь значительные величины, что делает очевидным необходимость учета эффектов более высокого порядка. Однако часть кинематической области, в которой требуется радиационная поправка экспериментальных данных, сравнительно невелика, она не превышает 5-7% кинематической области.

## ПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ АНИЗОТРОПИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВКР-ЛАЗЕРА НА КРИСТАЛЛЕ KGW:ND

Д. А. Комар

Лазерный кристалл  $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2:\text{Nd}^{3+}$  (KGW:Nd) является одновременно и ВКР-активной средой, имеющей богатую картину вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) [1]. Кристалл обычно имеет срез [010], совпадающий с осью оптической индикатрисы  $N_p$ . Это обеспечивает генерацию излучения, линейно поляризованного вдоль оси  $N_m$ . Для среза [010] спек-

тры спонтанного КР даны для случаев возбуждения излучением с колебанием электрического вектора  $\mathbf{E}$  вдоль осей  $N_g$  и  $N_m$ . При  $\mathbf{E} // N_m$  наблюдается только одна КР-линия с частотой  $\omega_R = 901 \text{ см}^{-1}$ , определяющая длину волны ВКР-лазера. В случае  $\mathbf{E} // N_g$  спектр СКР более богат, наиболее интенсивной является линия с  $\omega_R = 767 \text{ см}^{-1}$ . Однако сообщения о ВКР-лазерах, генерирующих только на колебательной моде  $767 \text{ см}^{-1}$ , нам неизвестны.

Цель работы – исследование спектральных и энергетических характеристик внрезонаторного ВКР-лазера при произвольной ориентации плоскости поляризации излучения накачки относительно осей  $N_g$  и  $N_m$  оптической индикатрисы кристалла KGW:Nd среза [010], а также исследование возможности обособленного использования колебательной моды  $767,5 \text{ см}^{-1}$ . Накачка производится KGW:Nd лазером с рабочим переходом  $^4F_{3/2} - ^4I_{13/2}$ . Генерация излучения с  $\lambda = 1351 \text{ нм}$  и его последующее ВКР-преобразование позволяют создавать на основе производимых в РБ элементов KGW:Nd безопасные для глаз источники, широко востребованные на практике.

В ВКР-лазере используется KGW:Nd-элемент размером  $\varnothing 4 \times 50 \text{ мм}^3$ , установленный в поворотное кольцо, что позволяет изменять ориентацию осей  $N_g$  и  $N_m$  относительно вектора  $\mathbf{E}$  излучения накачки. В системе реализован двухпроходной режим накачки импульсами длительностью  $\sim 25 \text{ нс}$  и энергией  $\sim 33 \text{ мДж}$ . Вывод стоксовых компонент из устойчивого резонатора производится зеркалом с параметрами:  $R = 25 \%$  для  $\lambda = 1507 \text{ нм}$ ,  $R = 49 \%$  для  $\lambda = 1538 \text{ нм}$  и  $T \approx 98-99,9 \%$  для  $\lambda = 1704-1784 \text{ нм}$ .

Спектральный состав выходного излучения контролировался при помощи монохроматора МДР-23, где в качестве пространственно протяженного фотоприемника, заменяющего выходную щель, использовалась ПЗС-камера на основе датчика HAMAMATSU G9212-512Q. Определение энергии импульсов ВКР-лазера производилось прибором Ophir Laser Star с измерительной частью PE50BV. Для нахождения энергии каждой спектральной компоненты использовалось три зеркала с различными коэффициентами пропускания для различных длин волн (см. таблица), которые поочередно устанавливались на пути выходного излучения ВКР-лазера.

Таблица

**Зависимость коэффициентов пропускания зеркал от длины волны**

$\lambda$ , мкм	1,507	1,538	1,7-1,8
Зеркало 1	0,05%	0,2%	55%
Зеркало 2	46,63%	69,7%	93,8%
Зеркало 3	10,87%	69,7%	73,5%

Зеркало 1 использовалось для определения суммарной энергии вторых стоксовых компонент. Измерив энергию излучения, прошедшего через зеркало 2 и 3, были рассчитаны энергии каждой спектральной компоненты. Данные о спектральном распределении энергии выходного излучения ВКР-

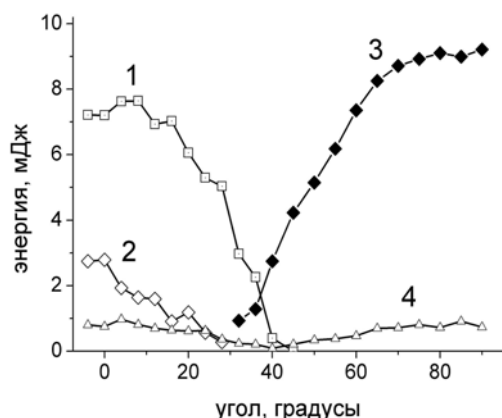


Рис. 1 – Зависимость энергии стоксовых компонент от угла  $\alpha$  между вектором  $\mathbf{E}$  излучения накачки и осью оптической индикатрисы  $N_g$ : 1, 2 – компоненты, поляризованные вдоль оси  $N_g$ ,  $\lambda=1507$  (1) и  $1538$  нм (2); 3 – компонента, поляризованная вдоль оси  $N_m$ ,  $\lambda=1538$  нм; 4 – вторые стоксовы компоненты,  $\lambda=1704, 1744$  и  $1784$  нм

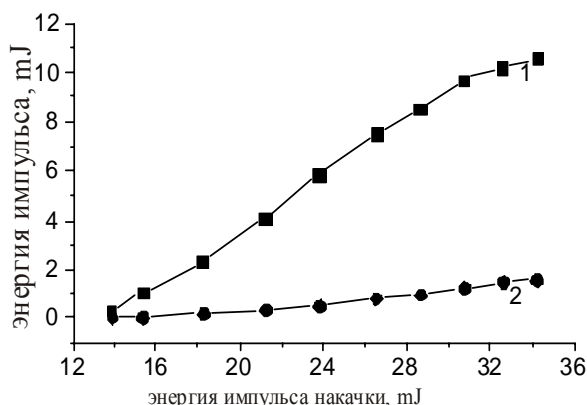


Рис. 2 – Зависимость энергии спектральных компонент излучения ВКР-лазера от энергии импульсов накачки: 1 – первая стоксова компонента  $\lambda=1,507$  мкм; 2 – вторая стоксова компонента  $\lambda=1,704$  мкм

лазера при повороте кристалла из положения  $\mathbf{E}/N_g$  в положение  $\mathbf{E}/N_m$  приведены на рис.1. Установлено, что направления линейных поляризаций выходного излучения определяются положением осей  $N_g$  и  $N_m$ , а не ориентацией вектора  $\mathbf{E}$  излучения накачки. Этим объясняются представленные на рис.1 зависимости. При повороте кристалла уменьшение проекции  $\mathbf{E}$  на  $N_g$  и увеличение проекции  $\mathbf{E}$  на  $N_m$  приводят к падению энергии поляризованных вдоль  $N_g$  стоксовых компонент с  $\omega_R=767$  см $^{-1}$  ( $\lambda=1507$  нм) и  $\omega_R=901$  см $^{-1}$  ( $\lambda=1538$  нм) и увеличению энергии ортогонально поляризованной компоненты с  $\omega_R=901$  см $^{-1}$ , генерируемой при  $\alpha > 33^\circ$ . Генерация стоксовых компонент, поляризованных вдоль  $N_g$  затухает при  $\alpha \approx 45^\circ$ .

Появление вторых стоксовых компонент объясняется плотной фокусировкой излучения накачки.

Для реализации ВКР-лазера с обособленным использованием колебательной моды  $\omega_R=767$  см $^{-1}$  активный элемент был установлен в положение  $\mathbf{E}/N_g$ , а выходное зеркало было заменено плоско-вогнутым отражателем с  $R=50\%$  и  $10\%$  при  $\lambda=1507$  и  $1538$  нм соответственно. Высокий коэффициент ВКР-усиления на колебательной моде  $\omega_R=767$  см $^{-1}$  и высокая добротность резонатора на длине волны  $1507$  нм приводят к генерации излучения с участием только этой колебательной моды. Помимо первой стоксовой компоненты  $\lambda=1507$  нм в спектре выходного излучения также присутствовал второй стокс с длиной волны  $\lambda=1704$  нм, энергетический вклад которого не превышал  $10\%$ . График зависимости энергии каждой компоненты от энергии импульса накачки приведен на рис. 2.



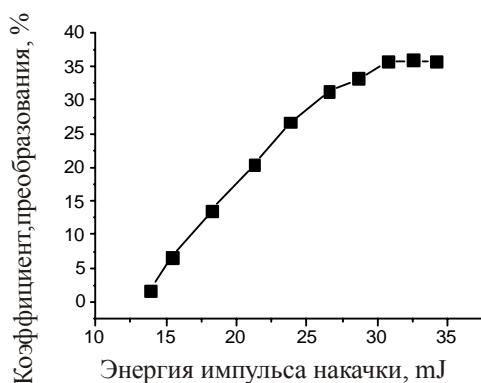


Рис. 3 (сверху) – Зависимость коэффициента преобразования от энергии импульса накачки

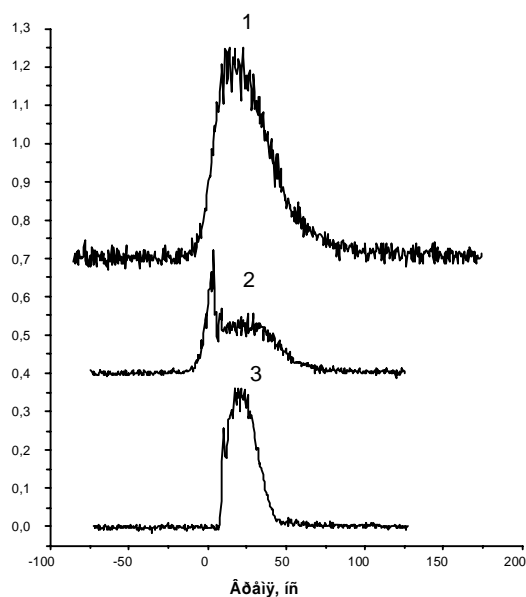


Рис. 4 (справа) – Осциллограммы импульсов: 1 – накачки; 2 – истощенной накачки; 3 – стоксовой компоненты

Эффективности преобразования в стоксовы компоненты увеличивалась с увеличением энергии импульса накачки и достигала 37% (график данной зависимости на рис.3). Для получения представлений о временных параметрах генерируемого импульса, были записаны осциллограммы излучения накачки, истощенной накачки и стоксовой компоненты (рис. 4). Как видно наблюдается изрезанность вершины временного профиля выходного импульса, что характерно при генерации второй стоксовой компоненты.

## ФАРМАННЕ СІЛЦЫДАЎ ЦЫРКОНІЯ ПРЫ ЎЗДЗЕЯННІ КАМПРЭСІЙНАЙ ПЛАЗМЫ

Р. С. Кудакцін

### УВОДЗІНЫ

Кантакт метал-паўправаднік шырока выкарыстоўваецца ў паўправадніковых прыладах і сонечных элементах. Асноўнымі характарыстыкамі кантакта метал-паўправаднік з'яўляюцца велічыня бар'ера Шоткі, удзельнае супраціўленне і тэрмаўстойлівасць. Сістэма крэмній-цырконій характарызуецца аднымі з лепшых параметраў кантакта: нізкі бар'ер Шоткі – 0,61 эВ, малое ўдзельнае супраціўленне – 35 мкОм/см [1]. Цырконій з'яўляецца тугаплаўкім металам, што робіць яго ўстойлівым да тэмпературнага ўплыву.

Трэба ўлічваць, што ў такіх сістэмах могуць узнікаць сіліцыды металаў. Аднак, сіліцыды цырконія характарызуюцца такімі ж станоўчымі якасцямі для кантакта як і сам цырконій.

Вядома некалькі метадаў атрымання сіліцыдаў цырконія: тэрма-апрацоўка, іонная бамбардзіроўка і ўздзеянне кампрэсійнымі плазмавымі патокамі. У нашым даследаванні мы ўздзейнічалі на сістэму «цырконіевае пакрыццё-крэмніевая аснова» кампрэсійнымі плазмавымі патокамі.

З мінулых даследаванняў вядома, што пры ўплыве кампрэсійнай плазмой на сістэму метал-паўправаднік можа ўтварацца дэндрытная структура [2]. Такім спосабам уплыву можна дабіцца за кошт утварэння фазы сіліцыдаў павелічэння плошчы кантакта.

## МЕТОДЫКА ЭКСПЕРЫМЕНТА

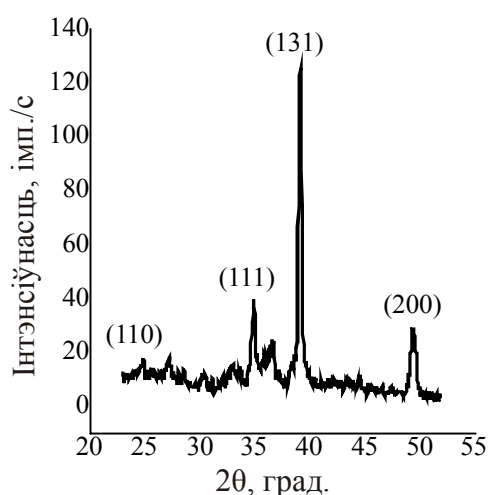
Плёнка цырконія таўшчынёй 2 мкм напылялася на крэмніевую аснову метадам вакуумна-дугавога асаджэння.

Узор апрацоўваўся кампрэсійнай плазмой, якую генерываваў магніта-плазмовы кампрэсар. Разрад ствараўся ў атмасферы азота пры зыходным ціску 3 тор. Шчыльнасць энергіі, якая перадавалася ўзору, змянялася ад 3 да 15 Дж/см<sup>2</sup>. Уздзеянне праводзілася 1, 2 і 3 імпульсамі. Працягласць аднаго імпульса складала ~ 100 мкс.

Фазавы склад апрацаванага ўзора даследваўся метадам рэнтгенаструктурнага аналізу на апарате ДРОН 4-13.

Элементны склад даследваўся метадам Ажэ-электроннай спектраскапіі.

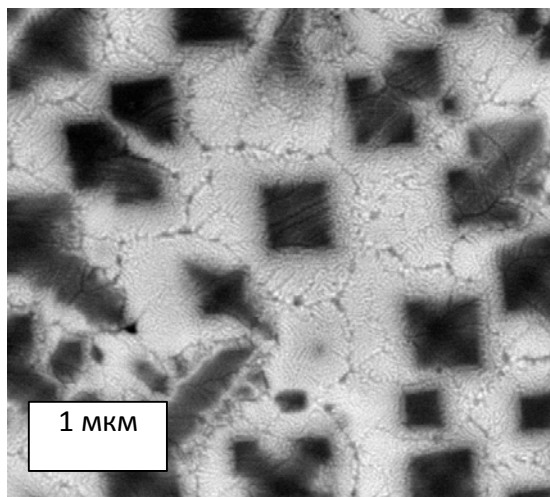
Мікраструктура даследвалася метадам растравай электроннай мікраскапіі на мікраскопе LEO1455VP фірмы «Karl Zeiss».



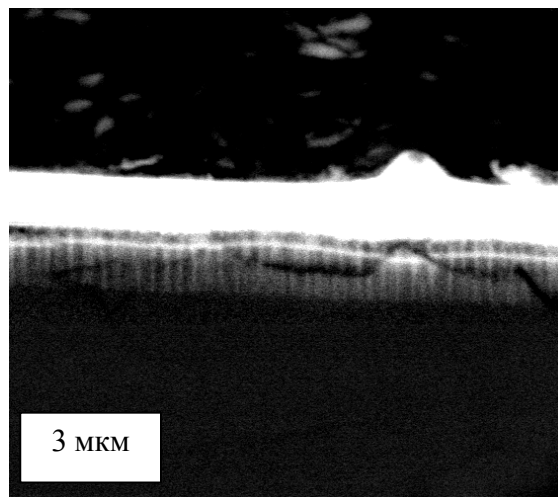
Мал. 1. Участак рэнтгенаграмы для ўзора, апрацаванага КПП са шчыльнасцю энергіі 12 Дж/см<sup>2</sup>: усе лініі – лініі ZrSi<sub>2</sub>

## ВЫНІКІ І АБМЕРКАВАННЕ

У выніку ўздзеяння кампрэсійнай плазмы на сістэму «цырконіевае пакрыццё-крэмніевая аснова» прыпаверхневы слой хутка награецца. Узнікаюць вялікія градыенты тэмпературы і ціску. Першым пачынае плавіцца крэмній, бо ў яго значна меншая тэмпература плаўлення. Калі шчыльнасці энергіі плазмы недастатковая для таго, каб расплавіць цырконій, то атамы цырконія пранікаюць



Мал. 2. РЭМ-выява ўзора, апрацаванага КПП са шчыльнасцю энергіі 15 Дж/см<sup>2</sup>



Мал. 3. РЭМ-выява папярочнага сячэння ўзора, апрацаванага КПП са шчыльнасцю энергіі 4 Дж/см<sup>2</sup> (2 імпульсы)

у крэмній праз дыфузію, калі ж шчыльнасці энергіі плазмы дастаткова для таго, каб расплавіць слой цырконія, то з-за вялікіх градыентаў тэмпературы і ціску адбываецца канвекцыйнае перамешванне вадкіх цырконія і крэмнія. Потым утвараюцца сіліцыды і прыпаверхневы слой крышталізуецца.

Даследаванне элементнага склада паказала, што ў мадыфікаваным слоі канцэнтрацыя крэмнія складае ад 70 да 90 ат. %, пры чым з павелічэннем шчыльнасці энергіі яна павялічваецца. На дыяграме стану сістэмы цырконій-крэмній [3, с. 11-466] гэты інтэрвал адпавядае сіліцыду  $ZrSi_2$ .

Было ўстаноўлена, што пры шчыльнасцях энергіі ад 4 да 8 Дж/см<sup>2</sup> мадыфіцыраваны слой змяшчаецца пад слоём цырконія, а пры шчыльнасці энергіі 12 Дж/см<sup>2</sup> мадыфікаваны слой пачынаецца ад самай паверхні і канцэнтрацыя крэмнія застаецца аднолькавай. Гэта паказвае, што ў выніку ўздзеяння кампрэсійнай плазмай адбываецца аднароднае перамешванне.

Пры даследванні фазавага складу была выяўлена фаза дысіліцыда цырконія  $ZrSi_2$  (мал. 1), што стасуецца з тэарэтычнымі прадказаннямі. З павелічэннем шчыльнасці энергіі інтэнсіўнасць ліній дысіліцыда цырконія павялічваецца, а чыстага цырконія – змяншаецца. Пры ўздзеянні плазмай са шчыльнасцю энергіі 15 Дж/см<sup>2</sup> двума імпульсамі назіралася аморфная структура. Пасля ўздзеяння кампрэсійнай плазмы міжплоскасныя адлегласці аказваліся павялічаныя на 0,5 %.

Пры даследванні мікраструктуры вывучаліся паверхня і папярочнае сячэнне. Было ўстаноўлена, што пры павелічэнні шчыльнасці энергіі паверхня робіцца неаднароднай. Пры шчыльнасці энергіі 12 Дж/см<sup>2</sup> на паверхні з'яўляюцца дэндрыты крэмнія, радыус крывіні вяршыні якіх 0,3 мкм, а адлегласць між асямі першага парадку 1 мкм (мал. 2).

Даследаванне папярочнага сячэння паказала, што пры шчыльнасцях энергіі ад 4 да 8 Дж/см<sup>2</sup> пад слоём цырконія фармуецца аднародны як латэральна, так і вертыкальна мадыфікаваны слой, які складаецца з дэндрытаў крэмнія і сіліцыдаў цырконія ў міждэндрытнай прасторы (мал. 3). Таўшчыня слоя складае ад 1 да 3 мкм. Пры павелічэнні шчыльнасці энергіі таўшчыня мадыфікаванага слоя павялічваецца, дасягаючы для 12 Дж/см<sup>2</sup> 25 мкм, аднак, слой робіцца неаднародным як па таўшчыні, так і па размеркаванні дэндрытаў.

## ВЫСНОВА

Уздзеянне кампрэсійнай плазмы са шчыльнасцю энергіі ад 3 да 15 Дж/см<sup>2</sup> на сістэму «цырконіевае пакрыццё-крэмніевая аснова» прыводзіць да фармавання напрацягу 100 мкс мадыфіцыраванага слоя таўшчынёй ад 1 да 25 мкм, які складаецца з дэндрытаў крэмнія і дысіліцыда цырконія (ZrSi<sub>2</sub>) у міждэндрытнай прасторы. Такім чынам павялічваецца плошча датычання фазы крэмнія і фазы дысіліцыда цырконія, што спрыяе паляпшэнню ўласцівасцяў кантакта.

## Літаратура

1. *Yamauchi et al.* Solid-phase reactions and crystallographic structures in Zr/Si systems // *Journal of Applied Physics*. 1991. № 69. С. 7050-7055.
2. *V.V. Uglov, V.M. Anishchik, N.T. Kvasov, Yu.A. Petukhou, V.M. Astashynski, A.M. Kuzmitski.* Structural and phase changes in iron-on-silicon treated by compression plasma flows // *Vacuum*. 2009. Vol. 83. №9. P. 1152-1154.
3. *E.A.Brandes, G.B.Brook* Smithells Metals Reference Book. 7th edition. Oxford, Butterworth-Heinemann, 1992.

## АЦП СПЕЦІАЛЬНОГО НАЗНАЧЕННЯ В GPS/ГЛОНАСС СИСТЕМАХ НАВИГАЦИИ

**В. А. Локтик**

Данная работа посвящена проектированию интегральной схемы дифференциального низко-потребляющего аналого-цифрового преобразователя (АЦП) в детекторе АРУ радиоприемного устройства для GPS/ГЛОНАСС корреляционного процессора в технологии КМОП 180 нм.

В системах подобного рода используются 2-х битные АЦП с программируемым порогом срабатывания. Первый бит, называемый битом определения нуля, устанавливается в единицу или ноль при изменении полярности входного дифференциального напряжения. Второй бит, бит порога, устанавливается в единицу при пересечении входным сигналом программируемого уровня квантования. Программируемый уровень срабатывания

необходим для борьбы с узкополосными помехами, которые присутствуют во входном сигнале. Система состоит из 3 функциональных блоков:

- генератор опорных уровней и токов;
- входной повторитель сигнала с приемника;
- 2-х АЦП.

Два аналого-цифровых преобразователя необходимы для отдельной обработки сигналов с GPS и ГЛОНАСС приемников. АЦП являются схемотехнически-идентичными.

На рисунке 1 представлена схема генератора опорных уровней.

Генератор состоит из входного буфера, схемы преобразования последовательного кода в параллельный, элемент П1 на рисунке 1, и схемы формирования порогов квантования.

Входной буфер, транзисторы B0, B1, B5, B6, P5, P4 и резистор R1 используется для изолирования схемы от источника опорного напряжения VREF13 и формирования опорного тока.

Схема формирования порогов состоит из программируемого источника тока, на транзисторах B9, B10, B11, B12, B13 и B14. Значение тока пропорционально заданному коду выбора порога. На резисторе R0 формируется нужное падение напряжения. Схема смещения на двух транзисторах P2, P3 в диодном включении, необходима для задания рабочей точки компараторов в АЦП.

Входной повторитель выполнен по классической схеме [1, стр. 147-152].

Схема АЦП состоит из трех компараторов. Первый компаратор определяет изменение полярности сигнала. Два других определяют нижний и верхний порог срабатывания.

Схема компаратора представлена на рисунке 2.

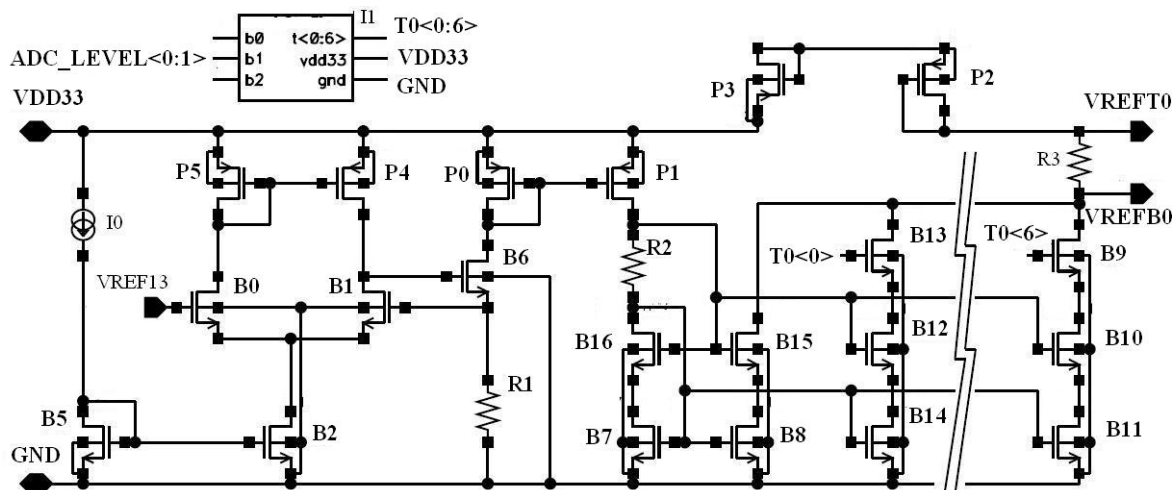


Рис. 1. Схема генератора опорных уровней

Рабочий цикл схемы происходит следующим образом. Входная дифференциальная пара на транзисторах P7 и P8 формирует дифференциальную разницу токов пропорциональную разнице входных напряжений VINN и VINP пришедших с приемника GPS или ГЛОНАСС сигнала. Далее этот ток преобразуется в напряжение посредством тактируемой аналоговой защелки на транзисторах B6, B7. Транзистор B5 выступает в роли ключа, который нужен для устранения эффекта «памяти» предыдущего состояния. Когда ключ открыт, напряжения в узлах NM1 и PM1 равны. При запираании защелки переходит в неустойчивое состояние. Если ток в ветви pm1 больше чем в NM1, то, через определенное время за счет положительной обратной связи, потенциал PM1 увеличивается, а потенциал NM1 уменьшается до потенциала земли. Сформированная разность напряжений в точках NM1 и PM1 преобразуется в цифровой сигнал, выходы NOUT1 и POUT1, посредством цифровой защелки на транзисторах B0, B1, B2, B3, B4, B8, B9, P4, P5, P6 [1, стр. 360-366]. Транзисторы B8 и B9 являются входными элементами цифровой защелки. Управление транзисторами B0, B1, B2, B5 и P6, выполняющими роль ключей, происходит с помощью логической схемы. Преимущество использования двух защелок в разделении процесса детектирования состояний входного сигнала и формирования выходных логических уровней.

Точность работы АЦП определяется приведенным к входу компаратора напряжением смещения, величина которого должна быть меньше 1мВ. Значение напряжения смещения определяется разбросом параметров транзистора при изготовлении. Наиболее критичен размер транзисторов P7, P8, B7 и B6. Напряжение смещения можно уменьшить, увеличивая геометрические размеры транзисторов, опираясь на таблицы разбросов в [2]. Увеличивая размеры транзисторов, мы увеличиваем время срабатывания защелки, которое, в свою очередь, можно уменьшить, увеличивая ток источника I1. Время срабатывания, и пропорциональное ему

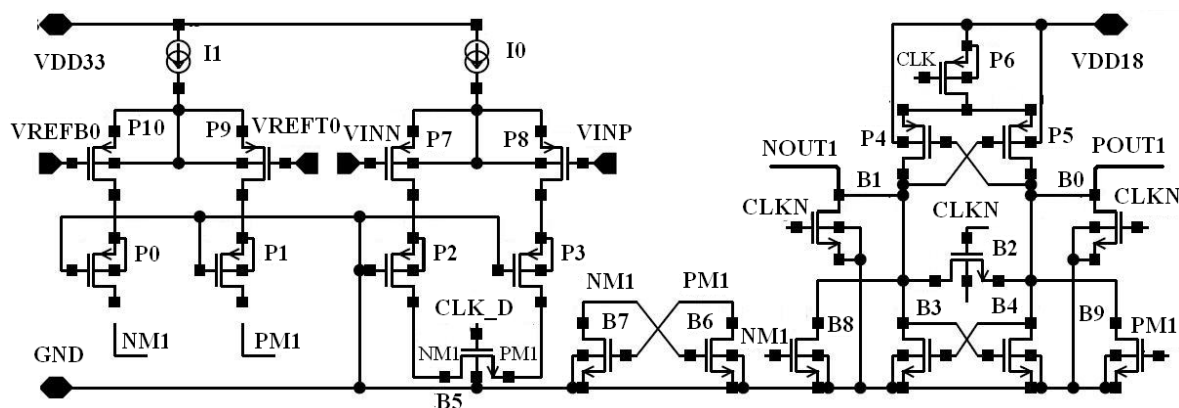


Рис.2. Схема компаратора

время преобразования, определяется из необходимой полосы частот входного сигнала по теореме Котельникова-Найквиста [3, стр. 15-23].

Моделирование разброса с помощью метода Монте-Карло позволяет найти оптимум между нужной точностью, временем срабатывания компаратора и общим потреблением схемы.

Схема определения порога в основной части, эквивалентна схеме определения нуля. Единственное отличие в дополнительной дифференциальной паре на транзисторах P9, P10 подключенной к точкам цепи NM1 и PM1 через ограничители напряжения на транзисторах P0 и P1, отделено на рисунке 2 от схемы детектирования нуля разрывом связи. Первоначально, в блоке генератора опорных сигналов, формируется значение необходимого порога, разница напряжения между VREFT0 и VREFB0, которые посредством дифференциальной пары на транзисторах P9 и P10, преобразуется в опорный ток. Этот ток суммируется с током входной дифференциальной пары, узлы NM1 и PM1. Далее сумма этих токов поступает на аналоговую защелку, которая формирует разницу напряжений. Напряжение в точке NM1 будет больше чем в PM1 в зависимости от того, скомпенсирован ли опорный ток входным током. Таким образом, схема позволяет определить момент пересечения входного напряжения заданного порога. Используя две дифференциальные пары можно определить верхний порог срабатывания. Для определения нижнего порога используется такая же схема, но с зеркальным подключением опорного сигнала к дополнительной дифференциальной паре.

Схема АЦП была разработана и изготовлена в технологии КМОП 180nm китайского завода SMIC. Моделирование проводилось в среде Cadence. Разработанный аналого-цифровой преобразователь удовлетворяет всем поставленным требованиям и обладает следующими характеристиками:

- однополярное аналоговое питание 3.3В;
- цифровые выходы совместимые со спецпроцессором 1.8В;
- мощность, потребляемая схемой 1мВт;
- максимальная входная частота сигнала 25MHz;
- диапазон входного напряжения 3.0-0.9В;
- подстраиваемый порог квантования 3 бита;
- точность определения порога 1мВ.

#### Литература

1. *Franco Maloberti*, Analog design for cmos VLSI systems// Kluwer Academic Publishers, 2001.
2. SMIC 0.18um CMOS Process Parameters Specification.
3. *Franco Maloberti*, Data Converters// Kluwer Academic Publishers, 2007.



# ДИНАМИКА СПЕКЛ-ПОЛЕЙ И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

А. П. Ропот

Извлечь полезную информацию из оптического сигнала, имеющего шум (спеклы) можно с помощью различных методов обработки спекл-изображений [1,2]. Однако большинство методов требуют дорогостоящего специального оборудования. Поэтому поиск более простых подходов для диагностики качества материалов на основе анализа их спекл-изображений [напр.3] является актуальной задачей. В данной работе на базе указанных методов рассматривается возможность определения теплофизических характеристик материалов [4].

Среди множества способов определения термофизических свойств материалов особое место занимают оптические бесконтактные методы. Наиболее распространенными и «продвинутыми» среди них являются: «флеш-метод», метод импульсных динамических решёток; метод на основе фотоакустического эффекта и метод «эффект миража». Все они основаны на принципе возбуждения слабозатухающих акустических волн и нестационарных тепловых полей в материалах и различаются только методами «съема» информации. Так, например, во флеш-методе изменение температуры регистрируется термопарой на тыльной поверхности образца. В методе динамических решеток температуропроводность образца определяется посредством измерения времени релаксации дифракции на тепловой решётке. В фотоакустическом методе с помощью чувствительного микрофо-

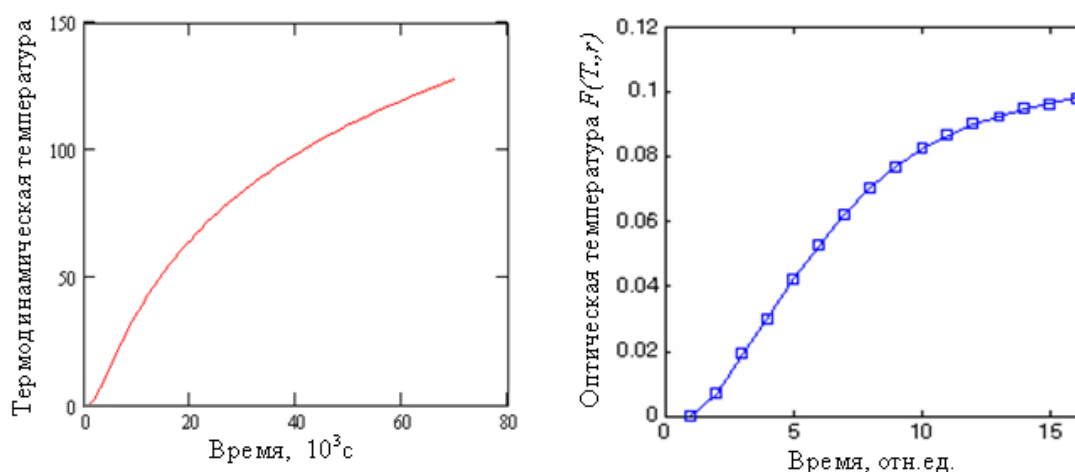


Рис. 1. Временная зависимость термодинамической температуры и ее оптического аналога



на в специальной камере регистрируется амплитуда и фаза акустической волны, созданной в газе, окружающем исследуемый образец. В мираж-методе исследуют зависимость отклонения зондирующего пучка, вызванного изменением показателя преломления на поверхности образца от расстояния между зондирующим пучком и областью нагревания.

Пространственно-временная модуляция, локализованная в амплитудно-фазовых профилях акустической или тепловой волны, переносится на поверхность материала, где «съем» информации может быть осуществлен и оптическим методом.

Пусть нестационарное тепловое поле на поверхности материала создается мощным лазерным импульсом. Процесс распространения этого поля вдоль поверхности образца описывается стандартным уравнением теплопроводности, решение которого имеет вид

$$T(x, t) = \frac{w}{c\rho} \int_0^t \frac{Q_1(t_1)}{\sqrt{4\pi k(t-t_1) + w^2}} \exp\left(-\frac{x^2}{4k(t-t_1) + w^2}\right) dt_1, \quad (1)$$

где  $T$  – термодинамическая температура,  $k$  – термодинамический потенциал,  $x$  и  $y$  – пространственные координаты,  $c$  и  $\rho$  – удельная теплоёмкость и плотность среды,  $Q$  – тепловое поле, созданное лазерным импульсом. Здесь предполагается, что тепловой источник однородный вдоль оси  $y$  и что его распределение вдоль  $x$  имеет вид гауссовой функции с полушириной  $w$ . Нестационарное тепловое поле оказывает воздействие на зондирующее излучение, которое и формирует динамику спекл-поля. Первая производная выражения (1) имеет максимум, при этом его положение зависит от величины коэффициента термической диффузии  $k$ , который в данном случае определяется формулой

$$k = \frac{2x^2 - w^2}{4t}, \quad (2)$$

где  $x$  – расстояние между областью нагрева и зондирования,  $t$  – промежуток времени от начала импульсного нагрева до момента достижения максимальной скорости изменения спекл-поля. В ходе эксперимента величиной  $w$  можно пренебречь.

Движение спекл-структуры будет описываться статистически. Для описания степени изменения спекл-картины была введена корреляционная функция:

$$\text{corr}(r, \tau) = \frac{\langle (I(r, 0) - \langle I(r, 0) \rangle)(I(r, \tau) - \langle I(r, \tau) \rangle) \rangle}{\sqrt{\langle (I(r, 0) - \langle I(r, 0) \rangle)^2 \rangle \langle (I(r, \tau) - \langle I(r, \tau) \rangle)^2 \rangle}}, \quad (3)$$

Величина  $I(r, \tau)$  рассчитывается в фиксированные моменты времени, а усреднение проводится интегрированием по пространственной окрестности точки  $r$ . На основании экспериментальных результатов определяется момент достижения максимума скорости изменения спекл-поля путем нахождения экстремума производной по времени  $\tau$  от корреляционной функции (3). Следующим шагом является экспериментальное доказательство того, что выбранный нами оптический отклик пропорционален изменению температуры.

Схема эксперимента обеспечивала реализацию одномерного случая, т.е. вдоль поверхности образца возбуждался нестационарный тепловой поток. Зондирование области теплового возмущения проводилось излучением He-Ne лазера, отражение которого формировало динамическое спекл-изображение поверхности образца. Последнее в свою очередь регистрировалось быстродействующей CCD-камерой.

Исследования проводились на двух образцах из одного металла с различным коэффициентом термической диффузии и теплопроводности. Была получена серия временных зависимостей корреляционных функций (3) на различных расстояниях  $z$  от теплового источника. Анализ указанных зависимостей показал, что в области близкой к источнику различие корреляционных функций для исследуемых образцов незначительное. Однако при удалении от источника теплового поля это различие возрастает, приобретая максимальное значение, а затем при дальнейшем увеличении  $z$ , снова уменьшается. Следовательно, существует оптимальная область  $z$ , где чувствительность метода будет максимальной.

Многочисленные экспериментальные измерения показали, что если ввести функцию

$$F(r, t) = 1 - \text{corr}(r, t), \quad (4)$$

то ее временное поведение аналогично поведению термодинамической температуры. Следовательно, можно предположить, что функцию (4) можно интерпретировать как оптический аналог термодинамической температуры металлического образца. Вышесказанное иллюстрируется рис. 1, где приведена зависимость термодинамической температуры, вычисленная из уравнения теплопроводности, и зависимость, полученная на основе экспериментальных данных, с помощью уравнения (4).

Основное сходство термодинамической температуры и её аналога в оптике  $F(r, t)$  – наличие точки перегиба, т.е. точки максимума первой производной по времени. Как показали эксперименты, положение данной точки при удалении зондирующей области от источника теплового излучения смещается вправо по шкале времени. Данное утверждение иллюстрируется на рис. 2.

Измеряя положение максимума функции  $dF(T, r)/dt$  и его смещение, и используя процедуру калибровки (масштабный коэффициент для экспе-

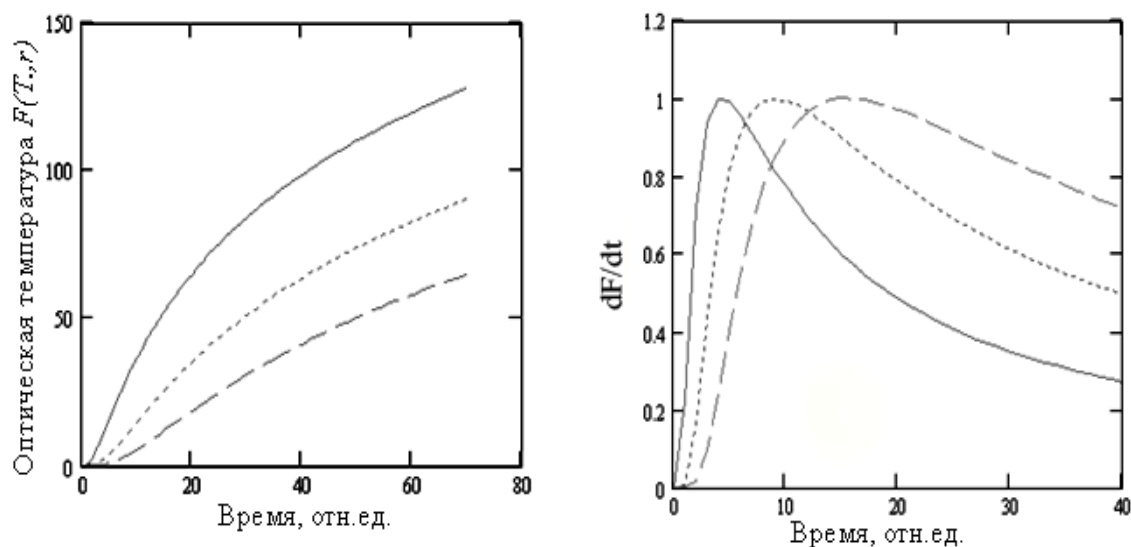


Рис. 2. Временное поведение оптического аналога температуры (а) и её производной (б) для трёх положений  $z$ .

риментальной установки), можно извлечь значение коэффициента коэффициента  $k$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проводимых экспериментов установлено, что временные и пространственные зависимости корреляционной функции  $F(r, t) = 1 - \text{corr}(r, \tau)$  спекл-поля для металлов аналогичны соответствующим зависимостям для термодинамической температуры.

Анализируя динамику спекл-изображений поверхности образца, рассчитывают корреляционную функцию  $\text{corr}(r, \tau)$ , а измеряя положение максимума  $d(\text{corr}(r, \tau))/dt$  и его смещение, определяют значение коэффициента термической диффузии  $k$ .

## Литература

1. Франсон М. Оптика спеклов/ М. Франсон// Пер. с франц. под ред. Ю.И. Островского. М.: Мир, 1980.– 171с.
2. Рябухо В.П. Спекл- интерферометрия// Соровский образовательный журнал «Физика». 2002. Т. 7, №5. С. 1– 9.
3. Васильев Р. Ю., Ропот А. П. Исследование подповерхностных дефектов тонких покрытий// Конференция молодых учёных и специалистов "Современные проблемы физики". Минск, 2006.С. 199-202.
4. Хило Н. А., Ропот П. И., Казак Н. С., Белый В. Н., Мащенко А. Г., Оптический метод определения твёрдости металлов и сплавов// ЖПС, 2009.

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ  
ПРИРОДНЫХ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ  
НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ  
ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ АТМОСФЕРНОГО ОЗОНА  
ПО СПЕКТРАМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ  
ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ УФ ИЗЛУЧЕНИЕМ СОЛНЦА**

**В. Ю. Станкевич**

Исследования динамики изменения общего содержания озона в столбе атмосферы (ОСО) является одной из актуальных задач физики атмосферы, так как озон играет важную роль в жизни нашей планеты. Особая важность озона для сохранения жизни на Земле заключается в том, что этот газ активно поглощает ультрафиолетовое излучение диапазона 290 – 330 нм, приводящее к повреждениям клеточных структур живых организмов [1]. Одним из практических аспектов измерения ОСО является построение климатических моделей. Для долгосрочных прогнозов необходимы модели, основанные на многолетних непрерывных рядах измерений ОСО [2].

Наиболее распространенные методы измерения ОСО по прямому Солнцу в условиях значительного количества облачных дней в году, что характерно в частности для Беларуси, не способны дать непрерывные ряды наблюдений. В связи с этим целесообразно использовать метод восстановления значений ОСО по анализу спектральной плотности энергетической освещенности (СПЭО) земной поверхности в УФ диапазоне (т.н. метод Стамнеса) [3]. В отличие от широко распространенных методов измерений ОСО «по прямому Солнцу» или «из зенита», в методе Стамнеса регистрируется излучение, приходящее из полной полусферы. Благодаря этому, метод Стамнеса позволяет проводить измерения даже при наличии облачности, экранирующей прямое излучение солнечного диска. Согласно данному методу значения ОСО можно получить, используя отношение освещенностей на двух длинах волн солнечного спектра, одна из которых попадает в область поглощения атмосферного озона, а другая - находится вне этой области. Экспериментально измеренное отношение указанных освещенностей сравнивается с подобными отношениями, теоретически рассчитанными для набора значений ОСО и солнечных зенитных углов при различных параметрах и моделях атмосферы. [4] Для расчета переноса солнечного излучения в атмосфере используется пакет прикладных программ, объединенных в библиотеку libRadtran [5].

Предварительные оценки показывают, что в «классическом» варианте метод Стамнеса позволяет получить значения ОСО с точностью порядка 5%, что вполне удовлетворительно для целого ряда прикладных и научных

задач [4]. В то же время, влияние на его точность природных и инструментальных факторов, таких, как оптическая толщина атмосферного аэрозоля, оптическая толщина облачности, альбеда земной поверхности, а также полуширины приборной функции и выбранных для расчета пар длин волн, исследовано в настоящее время далеко не полностью [3].

Целью данной работы было определение параметров атмосферы и измерительного прибора, наиболее сильно влияющих на точность получаемых по методу Стамнеса значений ОСО; оценка погрешностей, вносимых данными факторами в итоговые значения ОСО; а также выявление пар длин волн (из используемых в настоящее время), наименее подверженных влиянию атмосферных и приборных факторов.

Исследование проводилось с использованием пакета прикладных программ Libradtran, предназначенного для численного моделирования переноса солнечного излучения в атмосфере Земли. В ходе моделирования рассчитывались спектры энергетической освещенности поверхности в УФ диапазоне при варьировании различных параметров модели в достаточно широких пределах, а затем сравнивались значения ОСО, восстановленные по номограммам Стамнеса, по значениям освещенности при нулевом и фактическом значениях варьируемого параметра. При расчетах использовались пары длин волн, используемые в настоящее время при измерении ОСО с помощью спектрофотометра Добсона, являющегося эталонным прибором мировой озонометрической сети [6].

В ходе исследования было изучено влияние следующих природных параметров показатель преломления солнечного излучения атмосферными аэрозолями, оптическая толщина атмосферного аэрозоля, дальность видимости, альбеда однократного аэрозольного рассеяния, фактор асимметрии (среднее значение косинуса угла рассеяния), оптическая толщина облачности, альбеда подстилающей поверхности. Также было изучено влияние на восстановленные значения ОСО учета полуширины аппаратной функции прибора.

В результате проведенных исследований получено, что из исследованных пар длин волн наиболее устойчива к погрешностям, вносимыми атмосферными факторами, пара длин волн 308,9 нм и 329,1 нм; наименее устойчивой показала себя пара 317,5 нм и 339,9 нм. Погрешность, вызываемая не учетом в таблицах Стамнеса полуширины аппаратной функции прибора составляет 2-4 единиц Добсона (ЕД), в зависимости от выбранной пары длин волн.

Из рассмотренных атмосферных параметров только аэрозольный показатель преломления в достаточно широком интервале своих значений (0 – 10 с шагом 0,1) не влияет на результирующие значения ОСО, что связано, по всей видимости, с особенностями аэрозольной модели LibRadTran.

Из рассмотренных атмосферных параметров только аэрозольный показатель преломления в достаточно широком интервале своих значений (0 – 10 с шагом 0,1) не влияет на результирующие значения ОСО, что связано, по всей видимости, с особенностями аэрозольной модели LibRadTran.

Варьирование оптической толщины атмосферного аэрозоля в пределах 0–10 единиц приводит к разбегке в результатах 15-90 ЕД, в зависимости от выбранной пары длин волн. При типичных оптических толщинах аэрозоля, составляющих для Минска величину порядка 0,3–0,4 [7], погрешность определения ОСО составляет 2-10 ЕД.

Влияние дальности видимости при плохих погодных условиях может быть очень значительным, и искажать получаемые значения ОСО в несколько раз (см. рис. 1). При значении дальности видимости от 1 до 2 км погрешность, связанная с данным параметром, составляет 40-50 ЕД, при дальности видимости от 2 до 5 км – 20-30 ЕД, более 5 км – 2-10 ЕД. Таким образом, при дальности видимости менее 5 км проводить измерения ОСО по методу Стамнеса нецелесообразно.

При варьировании альбеда однократного аэрозольного рассеяния от 0 до 1 восстановленные значения ОСО различались на 0,5–1 ЕД. Варьирование аэрозольного фактора асимметрии в пределах от -1 до 1 дало разбегку в значениях ОСО 2-4 ЕД. При варьировании альбеда подстилающей поверхности от 0 до 1 различие в восстановленных значениях ОСО для разных пар длин волн составило 6-12 ЕД. Изменение оптической толщины облачности в диапазоне 0-10 привело к разбегке в полученных значениях ОСО в 4-10 ЕД.

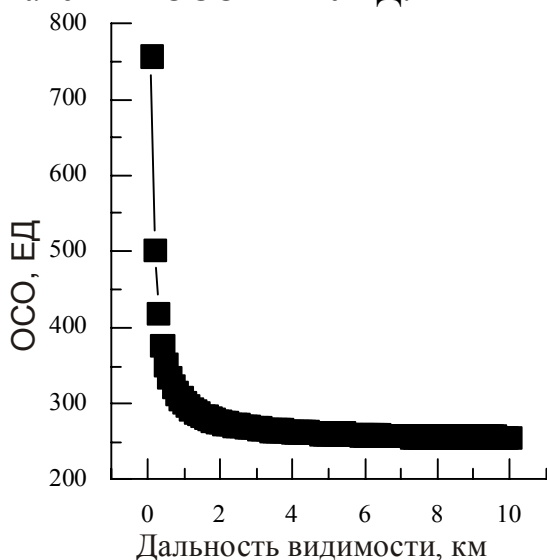


Рис.1. Зависимость восстановленных значений ОСО от дальности видимости (первоначальное модельное значение ОСО - 250 ЕД)

Таким образом, из всех природных факторов наибольшую погрешность в получаемые значения ОСО вносят дальность видимости, оптическая толщина аэрозоля, оптическая толщина облачности и альбеда подстилающей поверхности.

#### Литература

1. Гуцин Г.П., «Динамика атмосферного щита биосферы – озонового слоя за последние 50 лет» // «Атмосферный озон», труды VI Всесоюзного симпозиума, Л., 1987, с. 9 – 15;
2. Petzoldt K. B., Naujokat, Neugeboren. Correlation between stratospheric tem-

- perature, total ozone, and tropospheric weather systems. // *Geophysics Research Lett.*, 1994, v 21., p 1203 –1206.
3. *А.Г. Светашев, Ю.И. Атрашевский, А.Н. Красовский, В.Ю. Станкевич.* Предварительные результаты восстановления ОСО по результатам наземных измерений спектрального распределения освещенности УФ составляющей солнечной радиации. // *Сахаровские чтения 2009: Экологические проблемы XXI века. Материалы 9-ой Международной научной конференции, 21-22 мая 2009 г., - с.305.*
  4. *Stamnes K. et al.,* Derivation of total ozone abundance and cloud effects from spectral irradiance measurements. // *Applied Optics*, 1991, Vol. 30, No. 30, p. 1 – 15.
  5. *Kylling A., Mayer B.,* LibRadtran, library for radiative transfer calculations, Edition 1.0, December, 2001.
  6. *Гущин В.П., Виноградова Н.Н.* Суммарный озон в атмосфере. Л.: Гидрометеиздат, 1983, - 241 с.
  7. «Атмосфера. Справочник» под ред. *Ю.С. Седунова.* Л.: Гидрометеиздат, 1991, - 510 с.

## ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ДЕТЕКТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ АЛМАЗА

**В.Н. Угневенок**

Алмаз обладает рядом преимуществ по сравнению с другими полупроводниковыми материалами: большая ширина запрещенной зоны, высокие подвижности носителей заряда, радиационная, химическая и температурная стойкость. Благодаря уникальным свойствам этого материала сфера применения алмазных детекторов ионизирующих излучений достаточно широкая и разнообразная. Ниже приведены наиболее перспективные области их использования [1, с.45].

*Таблица*

**Сфера применения алмазных детекторов**

Свойства алмаза	Область применения АД
Тканеэквивалентность	Дозиметрия рентгеновского и $\gamma$ -излучения в радиологии и медицине
Высокая радиационная стойкость	Регистрация нейтронов и мощных потоков импульсного $\gamma$ -излучения
Высокая термостойкость	Регистрация ядерных излучений при высоких температурах
Малые собственные шумы	Регистрация низкоэнергетических ядерных излучений
Высокая химическая стойкость	Регистрация ядерных излучений в агрессивных средах
Низкая чувствительность к $\gamma$ -излучению	Регистрация ионизирующих излучений на фоне сильного $\gamma$ -излучения

Основная цель использования алмазов в электронике — это создание высокотемпературных радиационно-стойких приборов, способных обеспечить высокий уровень характеристик и работать в экстремальных условиях.

В электронном приборостроении, как правило, применяются алмазы типа IIa, характеризующиеся малым содержанием азота, не превышающем значение  $10^{18} \text{ см}^{-3}$  [2, с.15]. Однако, не каждый такой кристалл пригоден для создания спектрометрического детектора ионизирующего излучения, поэтому кристаллы требуемого качества отбирают. Кроме того, применение природного алмаза ограничивается его высокой стоимостью и широким разбросом фотоэлектрических характеристик от кристалла к кристаллу. Поэтому для изготовления детекторов ионизирующих излучений большой практический интерес представляет синтетический алмаз. Контроль процесса синтеза дает надежду на получение кристаллов с заданными характеристиками, удовлетворяющими спектрометрическому применению.

Целью данной работы является исследование спектрометрических характеристик детекторов на основе синтетического алмаза, полученного методом высоких температур и высоких давлений (НРНТ-метод).

Для исследований были приготовлены экспериментальные образцы детекторов, представляющие собой плоскопараллельные пластины алмаза толщиной 0,2-0,3 мм, с нанесенными на обе поверхности контактами. В качестве контактов использовались напыленные металлические слои ванадия и алюминия и слой, легированный бором. Комбинация контактов, напыленный металл на одной стороне пластины и легированный бором слой с противоположной стороны, позволяет получить инжектирующий контакт при положительном смещении, подаваемом на легированный слой.

Экспериментальные образцы облучались  $\alpha$ -частицами Pu-239 и Am-241 с энергиями 5,5 и 5,45 МэВ, соответственно. При воздействии излучения в алмазе происходит ионизация и создаются носители заряда. Под действием приложенного напряжения электроны и дырки собираются на электродах, создавая сигнал, считываемый зарядовым усилителем. После дополнительного усиления сигнал подается на амплитудный анализатор, где происходит непосредственно формирование спектра, который записывается в памяти персонального компьютера и отображается на мониторе в режиме реального времени. Всего было исследовано более 30 образцов.

На рисунке 1 приведено амплитудное распределение импульсов от  $\alpha$ -частиц Pu-239, записанное с помощью одного из экспериментальных об-



разцов детектора. Освещение  $\alpha$ -частицами проводилось со стороны металлического контакта, к которому прикладывалось положительное смещение в 200 В. Контактная область на противоположной поверхности была легирована бором, и к ней прикладывалось отрицательное смещение, обеспечивающее запирающий контакт.

Как видно из рисунка, спектр характеризуется широким разбросом значений амплитуды сигнала. На кривой амплитудного распределения отсутствует какой-либо максимум, что не позволяет проводить оценки значений энергии падающих частиц. Такой вид спектра характерен для большинства исследованных экспериментальных образцов с напыленными металлическими контактами на обеих поверхностях. Он может быть обусловлен неоднородным распределением фотоэлектрических характеристик синтетического алмаза и (или) проявлением поляризации.

Возникновение электрической поляризации при облучении ионизирующими частицами является одним из наиболее существенных недостатков алмазных детекторов. Поляризация появляется вследствие захвата ловушками носителей заряда, движущихся к противоположным электродам под действием приложенного электрического поля, в результате чего амплитуда импульсов и эффективность счета падают со временем.

Для устранения поляризации используют инжекцию носителей заряда противоположного знака, которые нейтрализуют заряды, захватываемые ловушками [1, с.42-43]. На рисунке 2 приведен спектр  $\alpha$ -частиц Pu-239, записанный тем же детектором, что и спектр, приведенный на рисунке 1, но с противоположной полярностью приложенного напряжения. К легированному бором слою приложено положительное смещение, обеспечивающее инжекцию дырок.

При использовании инжектирующего контакта спектр  $\alpha$ -частиц изменился. На нем появилось два выраженных максимума, наличие которых

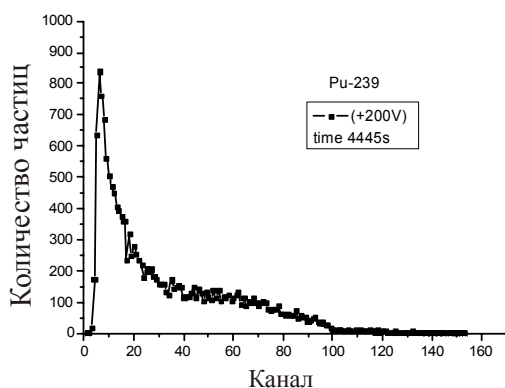


Рис. 1. Спектр  $\alpha$ -частиц Pu-239, снятого при использовании запирающего контакта

свидетельствует о существовании двух областей в кристалле, собирающих различное количество зарядов от монохроматического источника  $\alpha$ -частиц. Кроме того, ширина пиков достаточно велика, что говорит о неоднородности фотоэлектрических характеристик кристалла в пределах этих двух областей. Хотя спектрометрические характеристики далеки от удовлетворительных значений, можно утверждать, что применение инжектирующего контакта

позволяет убрать проявление поляризации.

Таким образом, создание детектора на основе синтетического алмаза является непростой задачей, прежде всего из-за высокой неоднородности синтетических кристаллов.

В тоже время кристаллы «спектрометрического» качества существуют. В качестве примера на рисунках 3 и 4 приведены спектры  $\alpha$ -частиц Am-241 и Ra-226, записанные с помощью образца № 9837-3 при использовании инжектирующего контакта.

На рисунке 3 на кривой амплитудного распределения виден четко сформированный максимум с относительно высокими эффективностью счёта и энергетическим разрешением, составляющим 17 %. Следует отметить, что современные промышленные детекторы на основе природного алмаза имеют энергетическое разрешение менее 4 % [3]. Несмотря на большую разницу в значениях энергетического разрешения, структура спектра позволяет говорить о возможности проведения последующей работы над данным кристаллом с целью улучшения спектрометрических характеристик.

На рисунке 4 приведен спектр Ra-226, записанный с помощью того же экспериментального образца, что и спектр на рисунке 3. В излучении изотопа Ra-226 присутствуют  $\alpha$ -частицы с энергиями: 7,687, 6,002, 5,49, 5,305, 4,72 МэВ. Как видно из рисунка детектор регистрирует 5 пиков, связанных с частицами разных энергий.

К сожалению, синтезировать алмаз с заданными характеристиками в настоящее время не представляется возможным. Поэтому при создании спектрометрических детекторов на основе синтетического кристалла существует ряд проблем. Следовательно, необходимо, как и в случае с природным алмазом, проводить отбор исходного сырья и далее, при необходимости, улучшать характеристики детекторов при помощи инжектирующего контакта.

На данный момент дать однозначный ответ на вопрос о том, какие характеристики можно ожидать от детектора на основе НРНТ-алмаза и целесообразно ли его применять при создании спектрометрического детектора, дать невозможно. Пока эта проблема остается нерешенной и требует тщательного продолжения исследований.

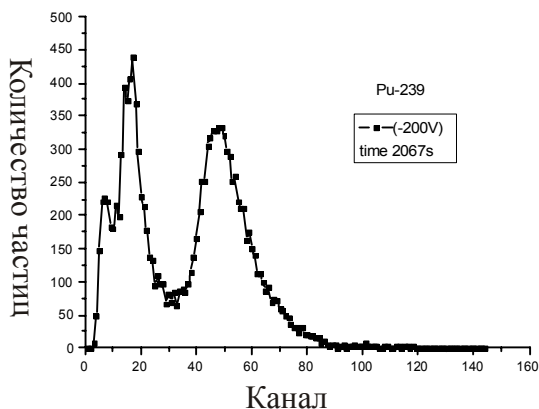


Рис. 2. Спектр  $\alpha$ -частиц Pu-239, снятого при использовании инжектирующего контакта

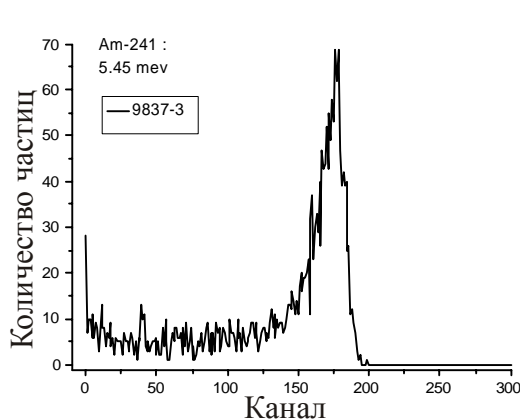


Рис.3. Спектр  $\alpha$ -частиц Am-241

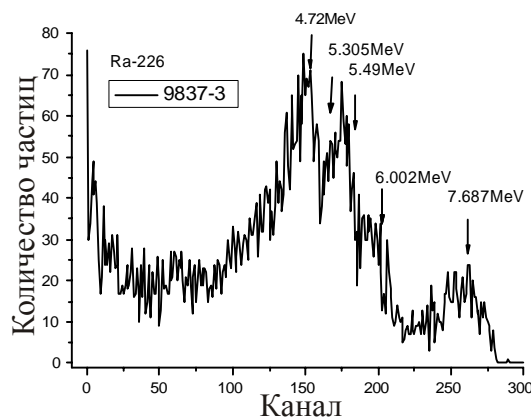


Рис.4 Спектр  $\alpha$ -частиц Ra-226

### Литература

1. Козлов С.Ф. Алмаз в электронной технике // Сб.ст./ Отв.ред. В.Б. Квасков. – М.: Энергоатомиздат, 1990. –С.34–56.
2. Бокий Г.Б., Г.Н.Безруков, Ю.А. Ключев Природные и синтетические алмазы. М.: Наука, 1986, с.15
3. <http://www.ural-almaz.com.ru/product2.html>

## МАГНИТНАЯ СТРУКТУРА НАНОГРАНУЛ FESCOZR И СПИН-ЗАВИСИМОЕ ТУННЕЛИРОВАНИЕ В ОКИСЛЕННЫХ НАНОКОМПОЗИТАХ FESCOZR-AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Ю. А. Федотова, Ю. В. Касюк, И. А. Свито, А. А. Максименко,  
Ю. Е. Калинин, А. В. Ситников

Интерес к исследованию гранулированных наноконкомпозитов (*ГНК*) «металл-диэлектрик», содержащих гранулы ферромагнитного сплава (FeNi, FeCoZr и др.) в диэлектрической матрице (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и др.), связан с возможностью их применения для создания магниточувствительных устройств (сенсоров), эксплуатируемых при высоких частотах. Преимущество использования данных материалов заключается в оптимальном сочетании достаточно высоких значений электросопротивления  $\rho$ , малых значений коэрцитивности  $H_c$  и высоких значений магнитосопротивления  $\Delta\rho/\rho = (\rho(B) - \rho_0)/\rho_0$  [1]. Однако для практического применения таких *ГНК* необходимо исследование соответствующих физических свойств, которые зависят от ряда факторов: химического состава диэлектрической матрицы и металлических наночастиц, соотношения металлической и диэлектрической фаз в наноконкомпозите, магнитной структуры наногранул, состояния границы раздела между наногранулами и матрицей [2]. В данной работе представлено исследование взаимосвязи транспортных, магнитных и магнитотранспортных свойств *ГНК*

$(\text{FeCoZr})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$  ( $33 \text{ ат.}\% < x < 62 \text{ ат.}\%$ ), которые синтезировались методом ионно-лучевого распыления сложной мишени состоящей из пластин  $\text{FeCoZr}$  ( $270 \times 70 \times 14 \text{ мм}$ ) и пластин  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (толщиной 2 мм и шириной 9 мм). Состав композиционного материала контролировался числом диэлектрических пластин и расстоянием между ними. Осаждение нанокмпозитов осуществлялось в смешанной атмосфере аргона и кислорода на ситалловую подложку, которая охлаждалась водой. Данный нанокмпозит представлял собой тонкие пленки ( $\sim 4 \text{ мкм}$ ) с гранулированной структурой, содержащей аморфные ферромагнитные нанокластеры  $\text{FeCoZr}$  в аморфном оксиде алюминия.

Определение конкретного механизма электропереноса в *ГНК* осуществлялось на основе анализа экспериментальных температурных зависимостей сопротивления  $\rho(T)$  (с аппроксимацией его зависимостью  $\log \rho \sim (T_0/T)^\alpha$ ) и магнитосопротивления  $\Delta\rho/\rho(T)$  (с аппроксимацией его зависимостью  $\rho(B)-\rho_0/\rho_0 \sim T^b$ ) при различных концентрациях металлической фазы. Значения  $\rho$  и  $\Delta\rho/\rho$  определялись методом четырех потенциалов во внешнем магнитном поле  $B$  до 8 Тл в диапазоне температур 10 – 300 К.

Известно, что прыжковая проводимость описывается соотношением  $\log \rho \sim T^{-1/4}$  (закон Мотта), туннельная –  $\log \rho \sim T^{-1/2}$  и полупроводниковая –  $\log \rho \sim T^{-1}$  (либо в общем виде  $\log \rho \sim T^{-\alpha}$ , где  $\alpha$  – показатель степени) [2]. Различные механизмы проводимости описываются определенными соотношениями и для магнитосопротивления  $(\rho(B)-\rho)/\rho \sim T^b$  ( $b \sim 0,2$  – туннельная проводимость,  $b \sim 0,5$  – прыжковая проводимость,  $b \sim 1$  – полупроводниковая проводимость) [3]. Наилучшая аппроксимация экспериментальных данных  $\log \rho \sim T^{-\alpha}$  была достигнута при значении параметра  $\alpha = 1/2$  для всех концентраций металлической фазы. Это указывает на то, что в исследуемых *ГНК* преобладает туннельный механизм транспорта электронов между наногранулами через диэлектрическую матрицу во всем исследуемом спектре концентраций. Из построенных зависимостей  $\Delta\rho/\rho$  в координатах  $Lg(\Delta\rho/\rho)(Lg(T))$  определены значения параметра  $b$  (Таблица 1). Значение параметра  $b$  примерно равно 0,2. В соответствии с результатами, представленными в работе [3], такие значения параметра  $b$  соответствуют туннельному механизму проводимости. Это дополнительно подтверждает предположение о доминировании туннельного механизма транспорта электронов в исследуемых *ГНК* во всем диапазоне составов.

Таблица 1

**Значения параметра  $b$  для различных концентраций металлической фазы в композите  $(\text{Fe}_{45}\text{Co}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{100-x}$**

$x, \%$	33	36	55	61
$b$	0,25	0,23	0,15	0,22

Преобладание туннельного механизма проводимости для всего интервала температур (4-300 К) в исследуемых образцах *ГНК*, синтезированных в смешанной атмосфере кислорода и аргона, можно объяснить низкой концентрацией локализованных состояний  $n$  по сравнению, с образцами *ГНК*, синтезированными в атмосфере аргона [4]. Так как в этом случае нет недостатка в молекулах кислорода при формировании матрицы  $\text{Al}_2\text{O}_3$  из распыленного атомарного состояния и идет формирование диэлектрической прослойки  $\text{Al}_2\text{O}_3$  с малым количеством дефектов и неполных связей.

Для исследования магнитной структуры наногранул были построены кривые намагниченности  $M$ , приведенной к массе металлических частиц, от прикладываемого внешнего магнитного поля  $B$  для различных температур измерения 3-300 К. Из построенных зависимостей было определено, что кривая  $M(B)$  не выходит на насыщение даже при низких значениях температуры, а значение коэрцитивной силы мало. Данный результат, а также совпадение зависимостей  $M(B/T)$  (рис. 1) даже для образца с высоким содержанием металлической фазы ( $x=59$  ат. %), указывает на то, что наночастицы слабо взаимодействуют друг с другом, и часть из них находится в суперпарамагнитном состоянии даже при низких температурах.

Для исследования взаимосвязи магнитных и транспортных свойств композитов были получены кривые  $\Delta\rho/\rho$  и квадрата приведенной к максимальному значению намагниченности  $-(M(B)/M_s)^2$  от величины внешнего магнитного поля для образцов различного состава при различных температурах. Полученные зависимости хорошо коррелируют друг с другом при  $T=300$  К для различных составов *ГНК*  $(\text{FeCoZr})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$ , что свидетельствует о преобладании спин-зависимого характера туннелирования в исследуемых нанокомпозитах [2]. При более низких температурах наблюдалось некоторое расхождение зависимостей  $\Delta\rho/\rho$  и  $-(M(B)/M_s)^2$ , что объясняется

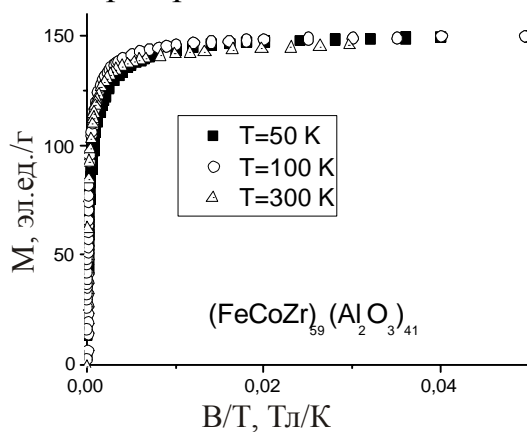


Рис.1. Зависимость приведенной намагниченности  $M$ , от частного прикладываемого внешнего

неоднородными свойствами границы раздела между наночастицей и матрицей. Спин-зависимый механизм проводимости осуществляется в *ГНК*, в которых содержание металлической фазы меньше порога перколяции и наночастицы, и/или их агломераты, изолированы друг от друга. Таким образом, в исследуемых *ГНК* отсутствует перколяционный переход даже при достаточно высоких значениях  $x$  (61 ат.%). Это объясняется тем, что при синтезе материала в кислородсодер-

жащей атмосфере происходит прогрессирующее окисление гранул FeCoZr и образуется структура «ядро-оболочка». Описанное окисление подтверждается исследованиями, проведенными ранее на образцах гранулированного нанокompозита  $(\text{FeCoZr})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$  методом ЯГР-спектроскопии [1]. В соответствии с ними происходит активное окисление металлических наночастиц и формируется структура «ядро-оболочка». При этом соотношение вкладов ядро/оболочка варьируется с изменением значения концентрации металлической фазы.

На рисунке 2 представлена зависимость  $\Delta\rho/\rho$  от концентрации металлической фазы в ГНК  $(\text{FeCoZr})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$ . Из рисунка видно, что при  $T = 300\text{ K}$  наблюдается иная, по сравнению с зависимостями при более низких температурах, кривая  $\Delta\rho/\rho(x)$  и наличие ее максимума при 55 ат.%. Это связано с тем, что при данной концентрации металлической фазы в ГНК осуществляются более оптимальные условия для спин-зависимого туннелирования и эффекта магнитосопротивления: толщина барьера достаточно мала, а магнитное и электрическое взаимодействие наночастиц и их агломератов незначительно. Отсутствие такого максимума для магнитосопротивления образцов при более низких температурах измерения очевидно связано с неоднородными магнитными свойствами FeCo-оксидов сложного состава на поверхности наногранул, которые изменяются при изменении температуры.

## ВЫВОДЫ

Для нанокompозитов  $(\text{FeCoZr})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$  доминирует спин-зависимый туннельный механизм транспорта электронов во всем диапазоне концентраций FeCoZr. Наночастицы в ГНК слабо взаимодействуют друг с другом,

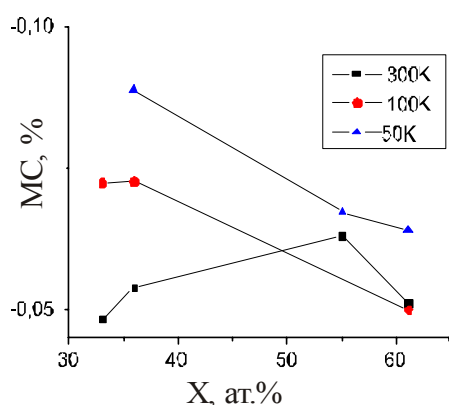


Рис. 2. Зависимость МС от концентрации металлической фазы в ГНК  $(\text{FeCoZr})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$

а часть из них находится в суперпарамагнитном состоянии даже при низких температурах. В исследуемых ГНК отсутствует перколяционный переход даже при достаточно высоких значениях  $x$  (61 ат.%), что объясняется прогрессирующим окислением гранул FeCoZr и формированием структуры «ядро-оболочка», которая оказывает значительное влияние на транспортные и магнитотранспортные свойства исследуемых ГНК.

## Литература

1. *Saad A., Fedotova J. et al.*, J. All. Comp. 471(1-2), (2009) 357-363.
2. *Золотухин И. В., Калинин Ю. Е., Стогней О. В.*, Новые направления физического материаловедения. Воронеж, 2000.
3. *Shinji Miwa and oth.*, PHYSICAL REVIEW, 214414 (2007), vol. 76.
4. *Saad A., Kasiuk J., Fedotova J., Szilagy E., Przewoznik J., Kapusta Cz. and Marszalek M.*, Hyperfine Interactions, Volume 189, Numbers 1-3, 2009.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ И СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОЛЕКУЛЯРНЫХ ЗОНДОВ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ 1,3,4-ОКСАДИАЗОЛА

**П. С. Чибирай**

Производные оксадиазола представляют собой класс флуоресцирующих молекул, которые используются в качестве молекулярных зондов для исследования свойств фосфолипидных мембран и структуры белка, а также многокомпонентных растворителей, применяющихся в промышленности в качестве топлива, органическом синтезе и хроматографии [1].

В данной работе на основе квантово-химических методов осуществлялось моделирование структуры и расчёт спектральных характеристик некоторых производных 1,3,4-оксадиазола для использования их в аналитических целях. В качестве объектов исследования были выбраны такие производные 1,3,4-оксадиазола, характеристики которых испытывают значительные изменения при их взаимодействии с окружением. Спектр испускания такого зонда в растворителях различной полярности смещается в сторону коротких длин волн («синий» сдвиг) при уменьшении полярности растворителя и, напротив, при увеличении полярности растворителя происходит длинноволновое («красное») смещение.

Расчёты структурных и спектральных характеристик представленных соединений выполнялись при помощи прикладного квантово-химического пакета GAMESS-US [2, 3]. Визуализация полученных результатов осуществлялась при помощи программы MacMolPlt [4]. Расчёты выполнялись в стандартном базисе 6-311G в приближении Хартри-Фока (HF), а также с частичным учётом электронной корреляции методами DFT с использованием гибридного обменно-корреляционного функционала B3LYP [5]. Такое приближение, как известно [6], позволяет воспроизводить экспериментальные структурные параметры молекул с точностью около 1 %.



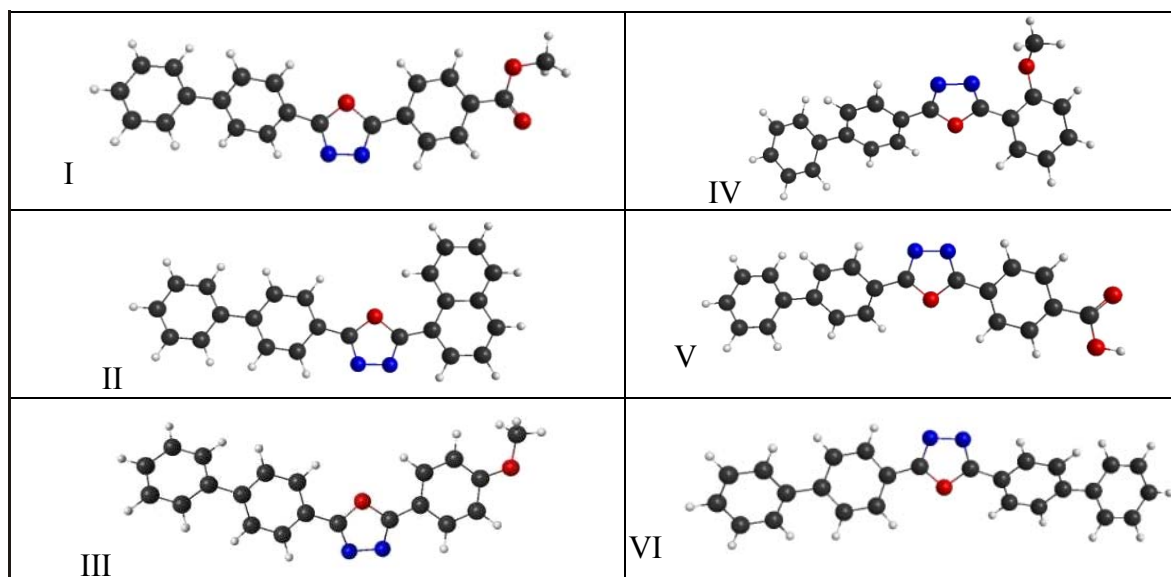


Рис. 1. Равновесные конфигурации производных 2-фенил-5-дифенилоксидазола-1,3,4

В структуру моделируемых молекулы входит устойчивое ядро (2-фенил-5-дифенилоксидазол-1,3,4), состоящее из оксадиазольной группы и трех бензольных колец, а также слабополярный ( $-\text{C}_6\text{H}_5$ ,  $-\text{C}_6\text{H}_4$ ) или полярный заместитель ( $-\text{COOCH}_3$ ,  $-\text{COOH}$ ). Сложная структура таких молекул включает свыше 40 атомов (из них более 20 неводородных) и около 200 электронов, что в рамках указанного выше приближения приводит к использованию большого количества базисных функций (около 400).

Поскольку исследуемые молекулы обладают сопряженной  $\pi$ -электронной системой, локализованной на сопряженных двойных связях, то предполагалось, что для рассматриваемых структур энергетически более выгодно иметь плоское строение. Поэтому при поиске равновесной конфигурации для центральной части (ядра) молекулярной структуры первоначально задавалось планарное строение. Тем не менее, в результате оптимизации геометрии для всех рассматриваемых объектов были получены неплоские структуры: стерическое отталкивание расположенных рядом атомов водорода приводит к развороту бензольных колец на углы около  $45^\circ$  относительно друг друга. При наличии же в структуре полярной группы происходит дополнительный изгиб молекулы относительно оксидазольной группы на углы  $20\text{--}23^\circ$ . Рассчитанные равновесные конфигурации некоторых исследованных молекул изображены на рис. 1.

Далее для каждого объекта рассчитывались следующие характеристики: энергия основного ( $S_0$ ) и первого возбуждённого синглетного состояния ( $S_1$ ), длина волны  $\lambda$  и сила осциллятора  $f$  перехода  $S_0 \rightarrow S_1$ , а также дипольный момент основного состояния  $\mu_0$  (табл. 1).



Как следует из данных табл. 1, расчёт в приближении HF/6-311G значительно завышает энергию  $S_0 \rightarrow S_1$  перехода, что приводит к существенному сдвигу длины волны в УФ область спектра. При этом значения дипольных моментов для расчётов в двух рассматриваемых приближениях коррелируют и согласуются с общепринятыми значениями [7].

Таблица 1

**Рассчитанные спектральные характеристики производных 1,3,4-оксадиазола**

Соединение	B3LYP/6-311G			HF/6-311G		
	$\lambda$ , нм	$\mu_0$ , Д	$f$	$\lambda$ , нм	$\mu_0$ , Д	$f$
I	344	4.97	0.991	259	5.23	1.69
II	376	2.99	1.063	287	3.05	1.51
III	333	5.50	1.146	256	5.79	1.50
IV	315	2.92	1.130	235	2.81	1.32
V	351	5.05	0.884	261	5.76	1.68
VI	338	3.06	1.562	261	3.21	2.04

Для проверки адекватности расчёта энергий  $S_0 \rightarrow S_1$  перехода дополнительно были выполнены аналогичные вычисления для молекулы бензола, система электронных состояний которого хорошо известна [8]. В результате таких расчётов выяснилось, что приближение B3LYP/6-311G завышает энергии возбуждённых электронных состояний на 5–10 %.

Рассчитанные длины волны электронного  $S_0 \rightarrow S_1$  перехода далее сравнивались с экспериментальными значениями длин волн 0-0 перехода, полученными из спектров поглощения и флуоресценции. Экспериментальные данные спектров поглощения и флуоресценции предоставлены ассистентом кафедры общей физики Буренковой Т.А.

Для представленного класса соединений такие спектры расположены в фиолетовой и в ближней УФ областях. Положение полос флуоресценции производных оксадиазолов, в отличие от спектров поглощения, существенным образом зависит как от структуры исследуемых молекул, так и от полярности растворителя. Таким образом, следует учитывать, что в экспериментальных спектрах присутствует эффект растворителя, что приводит к некоторому завышению энергии 0-0 перехода. Если в качестве заместителя присутствует фенильное кольцо, то это приводит к слабой зависимости спектра люминесценции от полярности используемого растворителя. Наличие в качестве заместителей сильнополярных групп ( $-\text{COOCH}_3$  и  $-\text{COOH}$ ) обуславливают достаточно сильную зависимость положения максимума полосы флуоресценции от полярности используемого растворителя.

Таблица 2

**Длины волн максимумов полос поглощения и флуоресценции, средние отклонения рассчитанных значений длин волн 0-0 перехода от экспериментальных, погрешность приближения B3LYP/6-311G**

Соединение	Растворитель	$\lambda_{\text{погл}}^{\text{max}}$ , нм	$\lambda_{\text{фл}}^{\text{max}}$ , нм	$\langle \lambda \rangle - \lambda_p$ , нм	Погрешность расчета, %
I	Октан	310	367	5.4	1.6
	Этанол	308	408		
	Диоксан	312	372		
	Толуол	313	375		
II	Октан	321	378	24.9	6.6
	Этанол	323	383		
	Диоксан	321	381		
	Толуол	326	385		
III	Октан	308	364	6.7	2.0
	Этанол	310	371		
	Диоксан	311	370		
	Толуол	311	371		
IV	Октан	310	362	24	7.6
	Этанол	314	367		
	Диоксан	311	366		
	Толуол	312	367		

В табл. 2 приведены значения длин волн максимумов полос поглощения и флуоресценции, средние отклонения рассчитанных значений от экспериментальных, а также погрешность приближения B3LYP/6-311G. Данные табл. 2 свидетельствуют об адекватности полученных результатов. При этом систематическое завышение энергии возбуждённого S1 состояния в расчёте приводит к своеобразной компенсации эффекта растворителя.

Следует также отметить, что расчёт в приближении HF/6-311G (т. е. без учета электронной корреляции) завышает энергию возбуждённого S1 состояния более чем на 20 %.

### Литература

1. Ye S., Zaitseva E., Caltabiano G. et al. Tracking G-protein-coupled receptor activation using genetically encoded infrared probes // Nature. 2010. V. 464. P. 7293.
2. Schmidt M.W., Baldrige K.K., Boatz J.A. et al. General atomic and molecular electronic structure system // J. Comput. Chem. 1993. V. 14. P. 1347.
3. <http://www.msg.ameslab.gov/GAMESS/GAMESS.html>
4. Bode B.M., Gordon M.S. Macmolplt: a graphical user interface for GAMESS // J. Mol. Graph. and Modeling. 1998. V. 16. P. 133.
5. Becke A.D. Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange // J. Chem. Phys. 1993. V. 98. P. 5648.
6. Кон В. Электронная структура вещества – волновые функции и функционалы плотности // УФН. 2002. Т. 172. С. 336.
7. Минкин В.И., Осипов О.А., Жданов Ю.А. Дипольные моменты в органической химии / Л., 1968.
8. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия/ М., 2001.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СЕГМЕНТАЦИИ ОБЪЕКТОВ БИМЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Е. В. Лисица

### ВВЕДЕНИЕ

Для обработки люминесцентных изображений биологических объектов разработано множество специальных и универсальных алгоритмов, среди которых можно выделить пороговые, градиентные, водораздельные методы и методы, в основе которых лежит вычислительная геометрия [1]. Основная проблема разработки методов анализа изображений связана с необходимостью всестороннего тестирования алгоритмов на широком наборе эталонных экспериментальных данных, которые в большинстве случаев технологически трудно получить. Данная задача может быть успешно решена с использованием метода имитационного моделирования [2]. Цели данной – 1) реализация алгоритмов обработки изображений для сегментации ядер клеток, 2) разработка имитационной модели люминесцентных изображений на основе параметров полученных из экспериментов по регистрации биомаркеров цитокератина (СК) в цитоплазме и рецептора эстрогенов (ER) в ядрах клеток.

### ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Биологический образец – опухоль рака груди. В цитоплазме раковых клеток протекают реакции с участием цитокератин 8 (СК8), который маркируется красителем Alexa Fluor 488 ( $\lambda_{\text{поглощения}} = 493$  нм,  $\lambda_{\text{испускания}} = 518$  нм [3]). В ядрах раковых клеток находится протеин рецептор эстрогенов ER [4], для маркировки которого используется краситель Cy5 ( $\lambda_{\text{поглощения}} = 654$  нм,  $\lambda_{\text{испускания}} = 673$  нм [5,6]), Для маркировки ядер используется краситель DAPI ( $\lambda_{\text{поглощения}} = 358$  нм,  $\lambda_{\text{испускания}} = 461$  нм [7]).

Изображения получены при помощи конфокального микроскопа компании Delta Vision Restoration, с использованием камеры Photometrix CH350L (500 kHz, 24-bit, 2048×2048 пикселей), диапазон возможных значений интенсивности от 0 до 255. В системе установлен микроскоп Nikon TE-2000, встроенный в Delta Vision System. Оптические срезы тканей получены последовательным фотографированием с шагом 0.5 мкм вдоль оси z. с Параметрами объектива – Nikon, Plan Fluor, NA 1.4 линзами. Флуоресценция регистрировалась стандартом Delta Vision для DAPI, FITC,

TexasRed. Размер изображения составляет 2048 пикселей на 2048 пикселей в каждом из трех каналов, разрешающая способность: 5 пикселей на 1 мкм. На рис. 1а приведен пример изображения системы.

На этапе предварительной обработки проводилась нормировка гистограммы интенсивностей пикселей в зависимости от времени облучения образца.

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ

Разработка имитационных алгоритмов проводилось на основе модельных представлений о регистрации трехканальных экспериментальных изображений, где синий цвет используется для окраски ядер клеток (аналогично красителю DAPI), красный цвет – для ядер раковых клеток (биомаркер ER) и зелёный цвет – для цитоплазмы раковых клеток (биомаркер CK). Экспериментальные изображения представляют собой наборы кластеров клеток. Использовались следующие распределения плотностей вероятностей: 1) кластеров клеток, 2) площадей клеток, 3) пиксельной интенсивности люминесценции в пределах ядра. Допускается наложение изображений индивидуальных клеток. Входными параметрами для моделирования установлены: отношение сигнал к шуму *SNR* (*signal-to-noise ratio*), относительный радиус наложения клеток в кластере *parametr*, относительная площадь, занимаемая кластерами клеток к площади изображения *k*, относительная площадь занимаемая ядром от площади клетки *s*, частота встречаемости клеток без протеина ER *probability*. Подробное описание построения имитационной модели приведено в работе [8].

Для тестирования алгоритмов строились синтетические изображения двух типов: в первом случае ядра содержали только красную компоненту, во втором случае ядра содержали только синюю компоненту. В обоих случаях использовались следующие параметры моделирования: отсутствует пересечение клеток *parametr* = 1, относительная площадь клеток от изображения *k* = 0.42, площадь ядра от площади клетки составляет *s* = 0.8. Пример смоделированного изображения представлен на рис.1б.

## АЛГОРИТМЫ СЕГМЕНТАЦИИ ЯДЕР

Для сегментации ядер использовались пороговый алгоритм с вычислением порога по методу Оцу, пороговый алгоритм с вычислением порога методом суммирования нормальных распределений и градиентный алгоритм. Схемы сегментации ядер приведены на рис. 2.

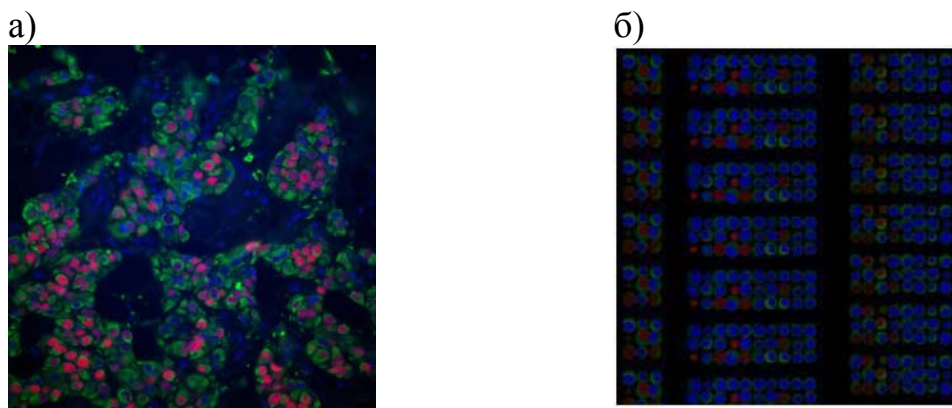


Рис. 1. Примеры изображений

*a* – экспериментальное изображение раковых клеток, *б* – синтетическое изображение псевдо-клеток полученное в результате имитационного моделирования

Для построения полутонового изображения использовалась сумма красной и синей компонент цветного изображения.



Рис. 2. Алгоритмы сегментации

*a* – пороговая сегментация, *б* – градиентная сегментация

В первом алгоритме для нахождения порога использовался метод Оцу (Otsu) [1]. Второй пороговый алгоритм использовал метод суммирования нормальных распределений для нахождения порога [9]. Отличительной особенностью метода суммирования нормальных распределений является необходимость оценивания относительной площади занятой искомыми объектами от площади всего изображения. Для построения данной оценки

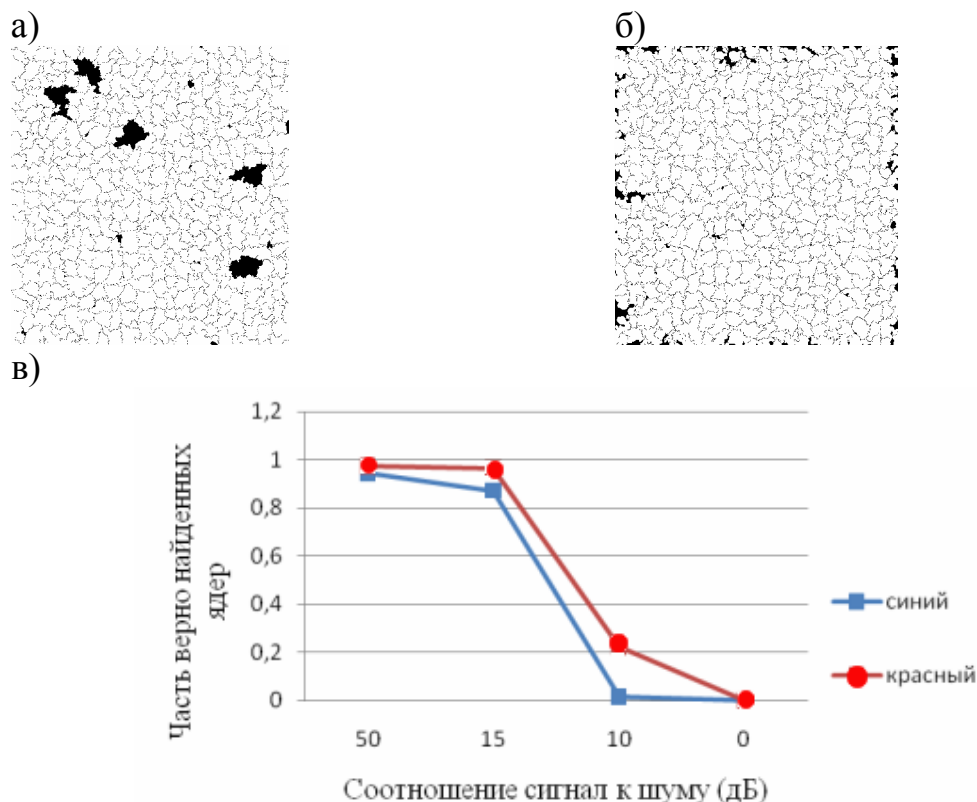


Рис.3. Результаты сегментации

*а* – сегментация пороговым методом Оцу, *б* – сегментация градиентным методом, *в* – устойчивость к шуму порогового метода на основе суммировании нормальных распределений

на полутоновом изображении находились локальные максимумы, по их количеству оценивалась площадь занимаемая ядрами. Сглаживание изображения позволяет сделать границ ядер более гладкими. Градиентный метод предполагает, что границы могут быть рассмотрены в виде областей, в которых наблюдается максимальный перепад интенсивности сигнала [10]. Для нахождения линий перепадов использовался детектор Канни [1]. Дилатация позволяет уширить линии границ и сгладить границы ядер [1].

Для разделения слившихся ядер использовался метод водораздела на основе интенсивности [1]. Для очистки изображения с маски ядер удалялись объекты радиус которых меньше заданного радиуса ядер.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 3. показаны результаты сегментации пороговым алгоритмом на основе метода Оцу и градиентным алгоритмом. Оба метода демонстрируют неудовлетворительное качество сегментации при соотношении сигнал к шуму  $SNR = 40$  дБ. Однако данные алгоритмы могут использо-

ваться для оценки числа ядер. Для улучшения сегментации ядер предложен алгоритм с пороговой сегментацией на основе метода суммирования нормальных распределений. Результаты устойчивости алгоритма к шуму показаны на рис. 3в.

При соотношении сигнал к шуму  $SNR > 15$  дБ количество верно найденных ядер составляет около 90% в красном и синем каналах изображения. Однако, при уменьшении  $SNR$  до 10 дБ происходит резкое ухудшение качества сегментации.

### Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Обработка изображений в среде MATLAB. М.: Техносфера. 2006.
2. E. Novikov, E. Barillot. An algorithm for automatic evaluation of the spot quality in two-color DNA microarray experiments// BMC Bioinformatics. 2005. Volume 6. pp. 293.
3. Obermajer N. at all. Cytokeratin 8 ectoplasmic domain binds urokinase-type plasminogen activator to breast tumor cells and modulates their adhesion, growth and invasiveness// Molecular Cancer. 2009. Volume 8. pp 88-98.
4. Szeszel M. K. at all. Quantifying Estrogen and Progesterone Receptors Expression in breast cancer by digital imaging. Journal of Histochemistry and Cytochemistry// 2005. Volume 53. pp. 753-762.
5. Nled M. at all. Fluorescent dye-labeled highly cross-adsorbed secondary antibodies// Pierce Protein Research Products. 2009. Volume 13. pp. 6-8.
6. Desai S. at all. New fluorescent dyes for protein labeling and immunoassay procedures// Pierce Protein Research Products. 2009. Volume 12. pp. 6-16.
7. Barcellona M. L. and Gratto E. Fluorescence Anisotropy of DNA/DAPI Complex: Torsional Dynamics and Geometry of the Complex// Biophysical Journal. 1996. Volume 70. pp. 2341-2351.
8. Лисица Е. В., Яцков Н. Н., Лутковский В. М.. Разработка моделей биомедицинских изображений// «Первый шаг в науку – 2010». Тез. докл. Междунар. форум студенческой молодёжи. Мн., 2010. С.516.
9. Bishop C. M. Pattern recognition and Machine Learning/ Springer. 2006.
10. Абламейко С.В., Лагуновский Д.М. Обработка изображений: технология, методы, применение. Мн.: Амаффея. 2000.

## ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ НАНОЧАСТИЦ

**Д. П. Лопатин, С. В. Кулаженко, Н. Н. Кольчевский**

Анализ нанообъектов на сегодняшний день является актуальной задачей не только для научных исследований, но и для промышленного применения наноструктур. Наиболее достоверным методом исследования геометрических параметров наноструктур является электронная микроскопия, позволяющая наблюдать нанообъекты при увеличении в более чем тысячу раз. В качестве регистрирующего элемента применяется циф-

ровая камера, сохраняющая большое число экспериментальных изображений в память компьютера. Актуальной задачей является разработка программного обеспечения, позволяющего вести пакетную обработку экспериментальных изображений для идентификации параметров наноструктур.

Цель данной работы – разработать программу позволяющую проводить пакетную предобработку изображений для дальнейшей обработки или распознавания элементов на изображениях.

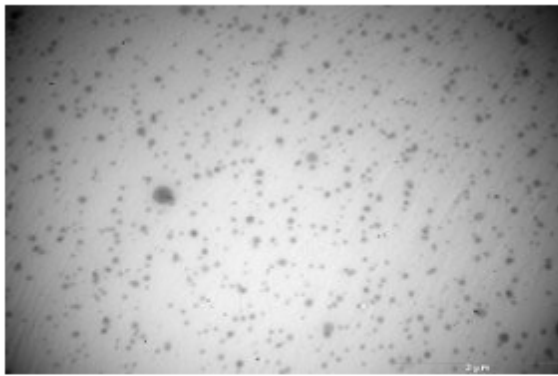
Важнейшим вопросом при цифровой обработке изображений является точность представления информации. Представление изображений в цифровой форме всегда связано с частичной потерей информации содержащейся в исходном сигнале. Это обусловлено дискретизацией сигнала по уровню и по пространственным координатам. В результате цифровой сигнал содержит лишь фиксированный набор значений в фиксированных точках пространства. При обработке цифровых изображений всегда теряется часть информации, поэтому предобработка изображений (выравнивание яркости, повышение контраста, и др.) должна как можно меньше менять исходное изображение. Для надежной идентификации дефектов структуры монокристаллов необходимо устранение «зашумляющих» факторов, к которым относятся слабая контрастность, фоновая неоднородность, зернистость изображений и дефекты фотоприемной матрицы. Для решения вышеописанных проблем разработана программа позволяющая производить предобработку и постобработку изображений.

В качестве языка программирования выбран Python. Синтаксис ядра Python минималистический. Стандартная библиотека включает большой объем полезных функций для работы с изображениями. Python поддерживает структурное, объектно-ориентированное, функциональное, императивное и аспектно – ориентированное программирование.

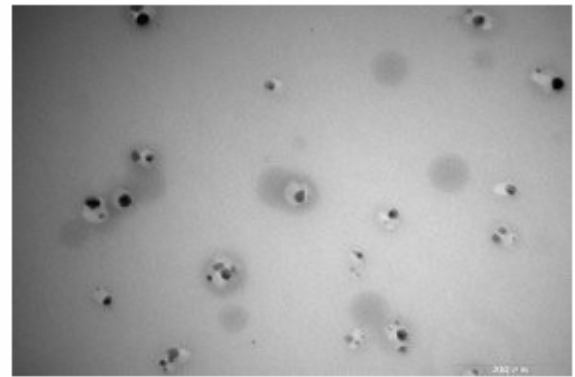
Для цифровой обработки были выбраны изображения коллоидного раствора золота в воде Au:H<sub>2</sub>O. Параметры раствора следующие: средний размер частиц золота 3-10 нм, концентрация золота в воде 20 ppm, что соответствует 20 частицам золота на миллион частиц воды. Золотые наночастицы исследовались на электронно-туннельном микроскопе Philips CM10. Был получен набор цифровых изображений золотых наночастиц. Увеличение микроскопа свыше 130 000х, при разрешении 300 пикселей/мм позволяет точно идентифицировать объекты размером 1–2 нм. На рисунке 1 показаны образцы исходных изображений, которые выбраны для пакетной обработки. Изображения имеют не равномерное распределение фона, имеющее радиальный градиент яркости.

На (рис.2а) представлено изображение после применения метода, основанного на прямом изменении амплитудного спектра изображения с порогом 40. На всех изображениях видно, что фоновая неоднородность





a)



b)

Рис. 1. Цифровые изображения коллоидных наночастиц золота

исчезла, а в темных участках изображений появились элементы не видимые до этого. На изображениях заметна некоторая размытость, это связано с тем, что общий уровень яркости изображения слишком высокий или низкий. Для устранения этого эффекта можно использовать предварительное изменение яркости: логарифмирование или экспонирование.

На (рис. 2б) представлены изображения обработанные методом, основанном на оценке среднего значения фона в различных областях изображения и вычитании его из исходного изображения, размер блока 20\*20. Применение данного метода приводит к общему осветлению изображений и повышению контраста, за счет вычитания интерполированного фона из исходного изображения.

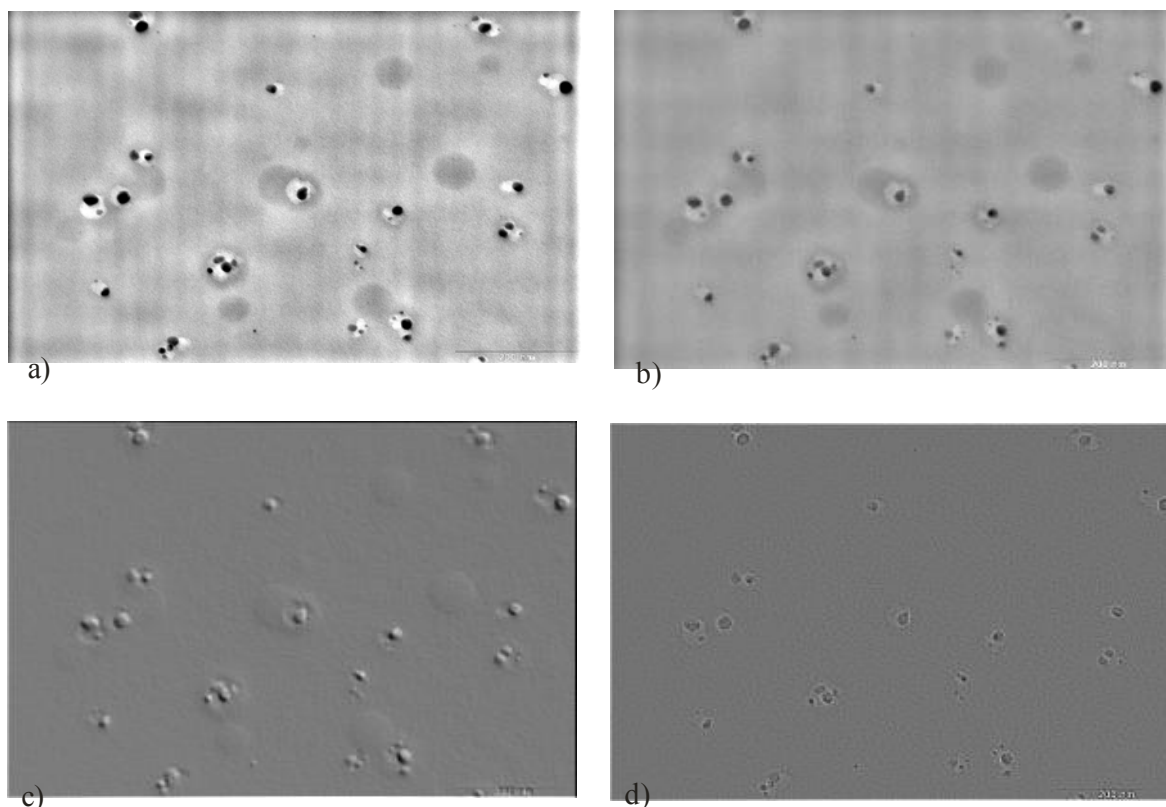
На (рис. 2в) представлены изображения после пакетной обработки с применением свертки, с маской оператора Собеля:

$$\begin{array}{ccc} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{array} \quad (1)$$

Данная процедура позволяет определить дискретный градиент изображения. В результате обработки уменьшается неоднородность фона и происходит выделение элементов с резко изменяющейся яркостью. На элементах изображения возникает светлое пятно – блик, и темное пятно – тень. Такое выделение приводит к тому, что человек воспринимает объекты объемными и обращает на них внимание в первую очередь.

Для обнаружения точек на изображении можно воспользоваться сверткой изображения и маски:

$$\begin{array}{ccc} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{array} \quad (2)$$



*Рис. 2. Результаты цифровой обработки изображения коллоидных наночастиц золота 1б.*

В данном случае будет вычисляться взвешенная сумма разностей значений центрального элемента и его соседей. Идея заключается в том, что точка имеет однородную яркость, которая значительно отличается от фона и поэтому после вычисления свертки происходит явное выделение отдельных точек (*рис. 2г*).

На (*рис. 3а*) представлено бинаризованное, инвертированное изображение. Данное изображение позволяет непосредственно проводить распознавание объектов на изображении или собирать статистическую информацию, такую как размер и количество частиц на изображении.

Таким образом, изображение на *рис.3а* получены из (*рис. 1б*) путем последовательного применения следующих операций: выравнивание фона путем удаления верхних гармоник из амплитудного спектра изображения, разбиение изображений на слои по уровню яркости, группировка и бинаризация подходящих слоев. На (*рис. 3б*) представлен график зависимости количества объектов на изображениях от их размера. Данные зависимости получены по средством следующего алгоритма: На изображении проводится операция размывания (последовательное применение эрозии и дилатации) и результат вычитается из исходного изображения. Операция размывания проводится с примитивами все большего и боль-

шего размера. В результате, после применения размыкания с примитивом большего размера, чем объект на изображении, происходит выпадение этого объекта из изображения. После вычитания из исходного изображения, на каждом шаге, мы получаем выделенные объекты только определенного размера, которые затем используются для построения зависимостей. Полученное распределение наночастиц по размерам является близким к паспортным характеристикам коллоидного раствора наночастиц золота, что свидетельствует о работоспособности предложенного алгоритма.

Разработанная программное обеспечение выполняет предобработку цифровых изображений, необходимую для дальнейшей пакетной обработки по анализу наночастиц. Функциональность программы можно разделить на три части: первая часть – это функции предобработки изображений (логарифмирование и экспонирование яркости, работа с контрастом, разделение изображения на уровни яркости), вторая часть – стандартная обработка (низко/высока частотная фильтрации, методы выравнивание яркости с использованием Фурье преобразования, методы устранения зернистости изображения, перенормировка цветов изображения, ряд морфологических функций), третья часть – это вспомогательные функции (функции предоставляющие информацию об изображениях, функции работы с буфером, функции для масштабирования и трансформации изображений). Данная технология дает следующие преимущества: возможность показа данных в нескольких представлениях, без дублирования; возможность внесения изменений с минимумом временных затрат; удобство программного кода, так как данные и представление разделаны; удобство тестирования кода; простая интеграция с SQL.

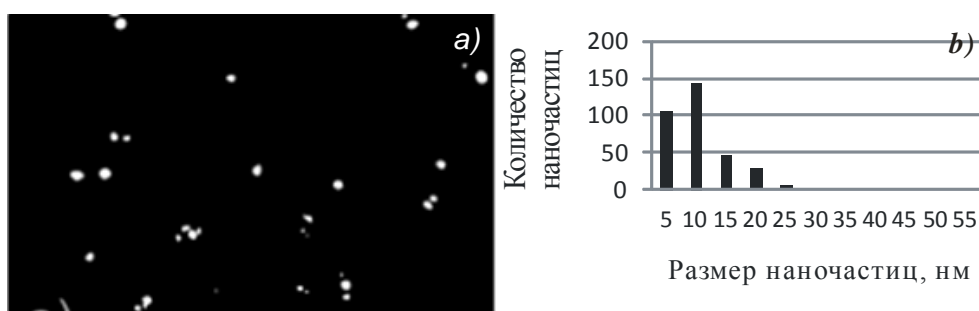


Рис. 3. Цифровые изображения коллоидных наночастиц золота (а) и график распределения наночастиц по размерам (б)

### Литература

1. Данильчук Л.Н., Ткаль В.А., Окунев А.О., Дроздов Ю.А. Цифровая обработка рентгенотопографических и поляризационно-оптических изображений дефектов структуры монокристаллов, Новгород, 2009.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений, М.: Техносфера. 2003.

# ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОБЛАСТИ

Е. П. Мацкевич

Стеганография решает такие остро стоящие вопросы как электронная цифровая подпись, скрытое хранение и передача секретной информации по открытым каналам передачи данных. Математические аспекты этой проблемы на сегодняшний день разработаны недостаточно и данное исследование в определенной степени восполняет этот пробел [1]. Способы и методы скрытия секретных сообщений известны давно, причем, данная сфера человеческой деятельности получила название *стеганография* [2].

В работе обсуждается исследование различных методов анализа свойств изображений, которые в дальнейшем могут быть использованы для их классификации. Создание таких методов предполагает детальное изучение участков изображения на предмет возможности встраивания в них информации на основе данных об однородности/неоднородности структуры.

Внедрение в стеганографический алгоритм указанных выше механизмов не только повысит эффективность скрытия информации, но и позволит повысить устойчивость стеганографических систем.

В ходе работы было изучено более 1000 изображений. Исследования производились с использованием языка интерпретатора MatLab 2009.

В ходе выполнения данной работы были исследованы изображения размером  $8 \times 8$  пикселей, при этом число 8 выполняло роль линейного размера субматриц большинства цифровых устройств, имеющих дело с изображениями. Такие размеры субматриц сложились исторически на основании наилучшего соотношения достаточной информативности и малого размера. Например, в случае формирования изображения с помощью ПЗС-линейки, заряд в её единственной строке «перетекает» к выходным каскадам усиления и там преобразуется в сигнал. У матрицы, состоящей из многих фотострок, заряд из выходных элементов каждой строки оказывается в ячейке ещё одного сдвигового устройства. Таким образом, построение матриц изображений идет по строкам/столбцам, соответственно, классификацию изображений наиболее рационально проводить по строкам/столбцам.

•**Метод разностей.** Суть метода заключается в разбиении изображения на строки и столбцы, нахождении в каждой строке/столбце минимумов, сдвиге значений элемента в каждой строке/столбце на значение минимального элемента. Для каждого из изображений строились графики зависимости нормированных значений в строках/столбцах (для R, G и B матриц), соответственно, от номера столбца/строки. Для алгоритма характерна малая вычислительная сложность. Однако, возникли затруднения при работе с изображениями с неоднородностью в виде всплеска, изображениями с четко выраженной блочной структурой. В этих случаях, достаточно часто

из построенных графиков напрямую не следует структура изображений. Был так же реализован алгоритм, где вместо минимума в каждой строке/столбце находили максимумы. Полученные результаты – аналогичны.

•**Метод произведений разностей.** Этот подход заключается в нахождении разностей между соседними элементами в строке/столбце и построении графика зависимости скалярного произведения векторов этих разностей от номера элемента в матрице изображения. Данный метод является мало эффективным, так как результаты для однородных и неоднородных изображений не проявляли существенных различий.

•**Метод дисперсии.** Данный метод подразумевает нахождение дисперсии значений элементов RGB-матрицы по вектор-строкам/ вектор-столбцам и построение зависимости квадрата среднеквадратичного отклонения от среднего значения по номерам столбца/строки. Использование аппарата математической статистики позволило проклассифицировать изображения на однородные и неоднородные, т.е. по полученным зависимостям можно наглядно определить структуру изображения. К недостаткам этого метода можно отнести повышенную вычислительную сложность, невозможность разделить изображения на неоднородные и сильно неоднородные.

•**Классификация по показателю однородности.** Предложено использование нового подхода к агрегированию многомерных данных на основе показателя однородности  $k$ , который представляет собой отношение среднего гармонического значений элементов массива к среднему арифметическому. Важнейшей особенностью алгоритма классификации изображений по показателю однородности является инвариантность к преобразованиям подобия и инверсии и к пространственному положению неоднородности [4].

С помощью этого показателя исследовано неоднородное и однородное изображение (рис.1).

Графики зависимостей показателей однородности от номера строки и номера столбца для этих изображения приведены на рис. 2.

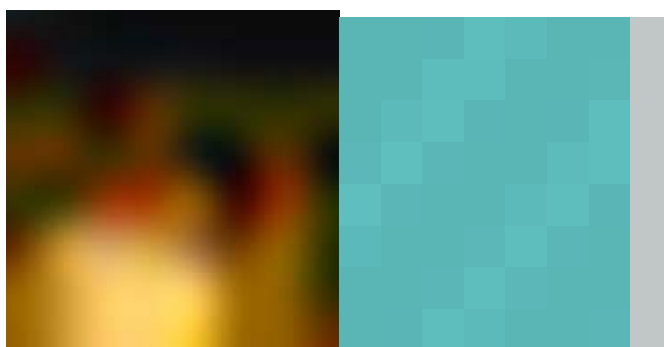


Рис. 1. Примеры фрагментов неоднородного и однородного изображений

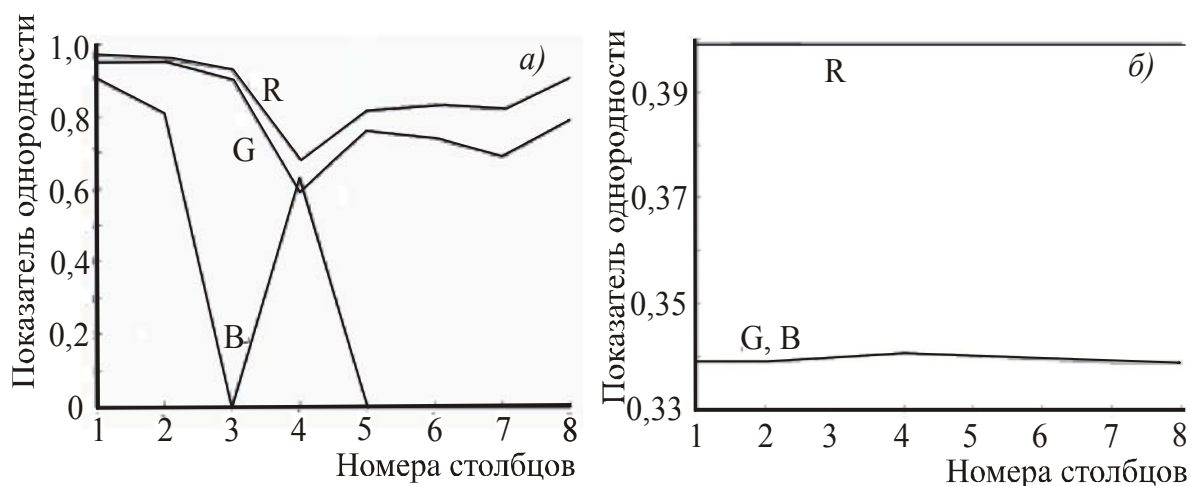


Рис.2. Графики зависимости показателя однородности от номера столбца для R, G, B матриц для неоднородного (а) и однородного (б) изображений

Коэффициент однородности меняется от нуля до единицы [3], поэтому было предложено классифицировать изображения следующим образом:

$0 \leq \Delta k \leq 0.002$  – однородное по строкам/столбцам;  
 $0.002 < \Delta k \leq 0.3$  – слабо однородное (слабо неоднородное) по строкам/столбцам;

$0.3 < \Delta k \leq 0.9$  – неоднородное по строкам/столбцам;

$0.9 < \Delta k \leq 1$  – сильно неоднородное по строкам/столбцам,

где  $k_{\max} - k_{\min} = \Delta k$ , где  $k_{\max}$  – максимальное значение коэффициента однородности,  $k_{\min}$  – минимальное значение коэффициента однородности,  $\Delta k$  – коэффициент однородности.

Значения граничных коэффициентов однородности для матриц могут быть скорректированы. В таблицах 1 и 2 приведены результаты анализа по данной методике изображений, приведенных на рис.1.

Недостатком данного алгоритма классификации изображений является наибольшая из всех рассмотренных ранее вычислительная сложность.

Исследованный разностный метод оценки изображений оказался применимым только к изображениям с равномерным распределением неоднородностей по всему пространству изображения.

Таблица 1

Цвет	По строкам	По столбцам
Красный (R)	слабо однородное	неоднородное
Зеленый (G)	неоднородное	неоднородное
Синий (B)	сильно неоднородное	неоднородное

Таблица 2

Цвет	По строкам	По столбцам
Красный (R)	однородное	однородное
Зеленый (G)	однородное	однородное
Синий (B)	однородное	однородное

Классификация их произведениями разностей соседних пикселей явилась менее чувствительной к неравномерности распределения неоднородностей в пространстве изображения. Однако, была выявлена слабая чувствительность этого метода при работе с изображением, в котором имеется локальный выброс значения пикселя хотя бы в одной из его цветковых матриц.

Использование дисперсионного критерия позволило четко провести различие между однородными и неоднородными изображениями, однако при этом наблюдаются сбои при работе с изображениями сильной и слабой неоднородности.

Предложен алгоритм, который позволяет классифицировать изображения по степени однородности/неоднородности на основе обобщения коэффициента однородности. При этом удастся разделять изображения по диапазону изменения их коэффициентов однородности на: однородные, слабо неоднородные, неоднородные, сильно неоднородные.

Исследования проводились по трем цветковым матрицам (R, G, B) изображений, что позволяет реализовать адаптивное стеганографическое встраивание данных в любую из них.

#### **Литература**

1. *Пономарев К. И.* Некоторые математические модели стеганографии и их статистический анализ: Автореф. Дис. Москва, 2010.
2. *Барсуков В. С.* Компьютерная стеганография вчера, сегодня, завтра. Технологии информационной безопасности 21 века/ В. С. Барсуков, А. П. Романцов //Специальная Техника" №4-5 1998 год.
3. *Грибунин В. Г.* Цифровая Стеганография./ В. Г. Грибунин, И. Н. Оков, И. В. Туринцев // М.:Солон-Пресс, 2002 – 272 с.

### **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НЕЛИНЕЙНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ВОЛНОВОДАХ С МОДУЛИРОВАННЫМ ПРОФИЛЕМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ**

**К. Б. Микитчук**

Разработка компактных источников среднего и дальнего ИК диапазона в настоящее время является актуальной задачей. Подход к получению среднего и дальнего ИК излучения, который может обеспечить генерацию при комнатной температуре, состоит в использовании нелинейных эффектов в арсениде галлия [2], [3], [4].

Основная трудность для эффективной нелинейной генерации состоит в необходимости выполнения условия фазового синхрониз-



ма, так из-за нормальной дисперсии показателя преломления фазовая скорость волны нелинейной поляризации, как правило, оказывается меньше фазовой скорости разностной моды.

Выход из данной ситуации — использование нелинейных эффектов. Из-за нелинейности арсенида галлия в нем происходит усиление и ослабление электрического поля [1]. В случае, когда структура полупроводникового лазера выращена на плоскости (001), а высокочастотные моды имеют ТЕ-поляризацию, нелинейная поляризация в GaAs перпендикулярна плоскости слоев и возбуждает на разностной частоте ТМ-моду [5]. Решение уравнений для ТМ мод полагалось в виде суперпозиции основной и двух боковых гармоник:

$$H_y = H_y(z) \exp(ik_x x) + H_y^+(z) \exp(i(k_x + \beta)x) + H_y^-(z) \exp(i(k_x - \beta)x) \quad (1)$$

Здесь  $H_y(z)$ ,  $H_y^+(z)$ ,  $H_y^-(z)$  - амплитуды гармоник магнитного поля: центральной, правой и левой соответственно.  $k_x$  - величина волнового вектора высокочастотных мод,  $\beta$  - частота гофрировки профиля диэлектрической проницаемости.

Пренебрегая членами второго порядка малости по амплитуде гофра профиля диэлектрической проницаемости, из уравнений для ТМ мод получили систему связанных уравнений.

Уравнение для основной гармоники:

$$\begin{aligned} & [\varepsilon(z) \frac{d}{dz} \frac{1}{\varepsilon(z)} \frac{d}{dz} + \varepsilon(z) \frac{\omega^2}{c^2} - k_x^2] H_y(z) \\ & + \frac{1}{2} [\kappa(z) \frac{d}{dz} \frac{1}{\varepsilon(z)} \frac{d}{dz} - \varepsilon(z) \frac{d}{dz} \frac{\kappa(z)}{\varepsilon^2(z)} \frac{d}{dz}] (H_y^+(z) + H_y^-(z)) \quad (2) \\ & + \frac{1}{2} \beta \frac{\kappa(z)}{\varepsilon(z)} [(k_x - \beta) H_y^-(z) - (k_x + \beta) H_y^+(z)] = -2\varepsilon^{(2)} \frac{k_x \omega}{c} A_1^* A_2 \end{aligned}$$

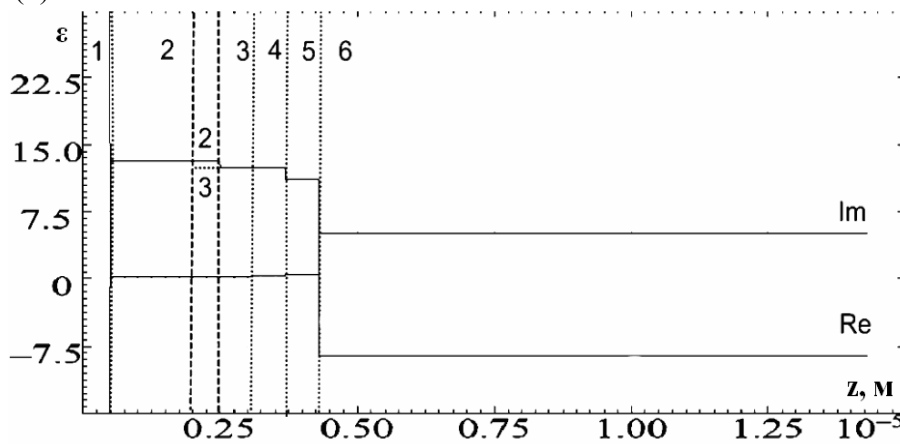


Рис. 1 Параметры слоев на профиле диэлектрической проницаемости: 1-металл, 2-GaAs, 2/3-слой с гофром вдоль перпендикулярной координаты, 3- InGaP, 4-GaAs, 5-InGaP, 6-GaAs



Здесь  $\kappa(z)$ - амплитуда гофра диэлектрической проницаемости,  $A_1, A_2$ - амплитуды электрического поля высокочастотных мод, при этом знак  $*$  означает комплексное сопряжение.

Уравнения для правой и левой гармоник соответственно:

$$\begin{aligned} & [\varepsilon(z) \frac{d}{dz} \frac{1}{\varepsilon(z)} \frac{d}{dz} + \varepsilon(z) \frac{\omega^2}{c^2} - (k_x \pm \beta)] H_y^\pm(z) \\ & + \frac{1}{2} [\kappa(z) \frac{d}{dz} \frac{1}{\varepsilon(z)} \frac{d}{dz} - \varepsilon(z) \frac{d}{dz} \frac{\kappa(z)}{\varepsilon^2(z)} \frac{d}{dz} \pm k_x \beta \frac{\kappa(z)}{\varepsilon(z)}] H_y(z) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Поиск решений полученных уравнений проводился для структуры, изображенной на рис. 1.

С учетом кусочно-разностных аппроксимаций совокупность систем уравнений (2) – (3) для всей сетки точек на структуре (рис. 1) стала основой для матрицы связанных коэффициентов, где в каждой вертикальной группе из трех строк решалась система уравнений (2) – (3) в трех точках. Вектор неизвестных сформирован чередованием гармоник.

Для корректного определения показателя преломления на разностной частоте были учтены вклады в диэлектрическую проницаемость свободных носителей и оптических фононов (модель Друде).

Численное решение задачи с параметрами исследуемой структуры (рис. 1) дало зависимость напряженности магнитного поля от координаты (рис. 2).

В области длин волн предполагаемого квазисинхронизма амплитудные зависимости поля меняли свой вид: имели характер, близкий к стоячим волнам.

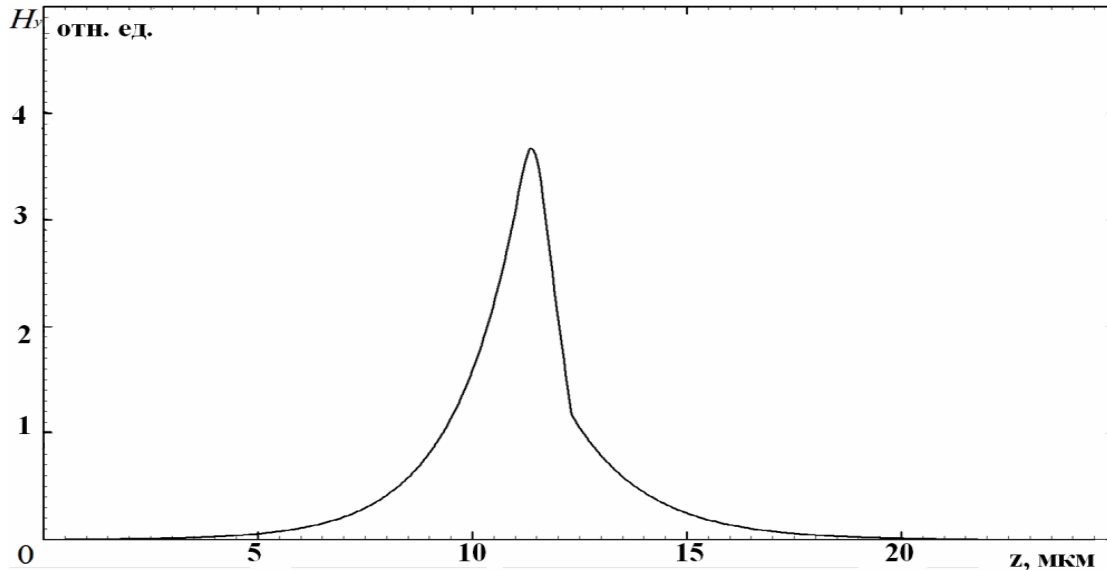


Рис. 2 Зависимость напряженности магнитного поля от координаты в одном из сечений структуры с гофрированным профилем диэлектрической проницаемости.

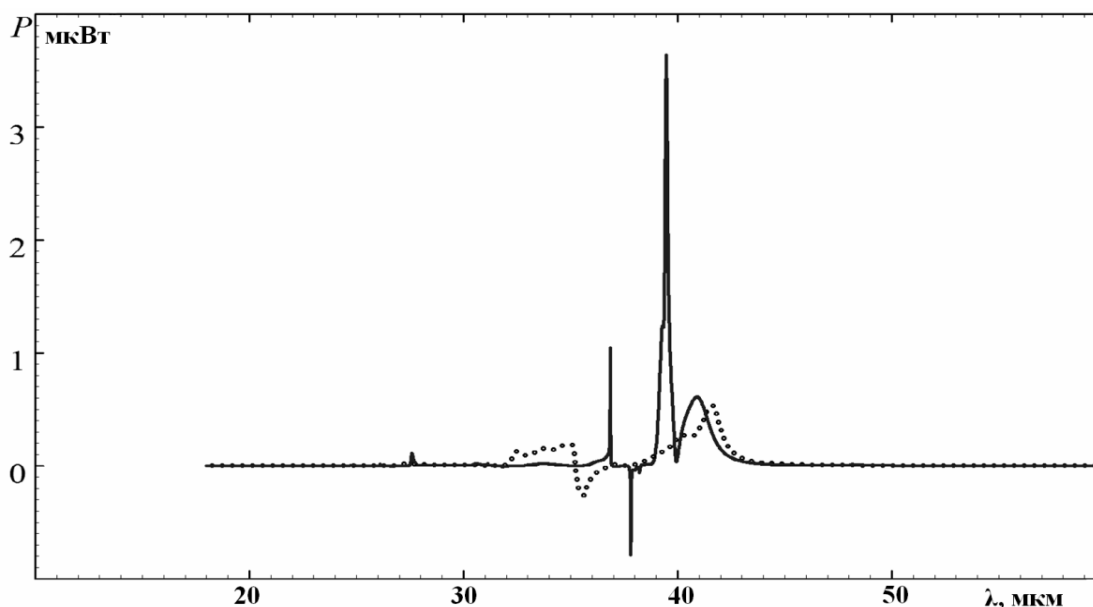


Рис. 3 Зависимость интеграла от потока мощности, генерируемой в волноводе с гофрированным профилем диэлектрической проницаемости, от длины волны (сплошная линия). Зависимость интеграла от потока мощности структуры с идентичными параметрами, но в отсутствии квазисинхронизма.

Правильность работы численной модели контролировалось рядом способов: проверялась непрерывность производных от полей и самих полей в моделируемой структуре.

Было замечено, что записанные ранее уравнения вырождаются при нулевой амплитуде гофра в уравнение для центральной ненулевой гармоники, что позволило проверить правильность работы численной модели по затуханию для слоев волноводной структуры.

После расчета зависимости мощности от длины волны была получена кривая (рис. 3), имеющая несколько резонансных всплесков. При ее рассмотрении следует учесть, что под мощностью подразумевается интеграл от потока мощности, который может быть как положительным, так и отрицательным в соответствии с направлением излучения мощности. Таким образом отрицательную мощность здесь следует рассматривать как мощность излучения, направленного в сторону убывания координатной оси в исследуемой структуре. Характерной особенностью явилось то, что наблюдалось изменение мощности во всплесках на один–два порядка в дальнем ИК диапазоне. Это явилось следствием того, что наблюдаемый эффект связан с квазисинхронизмом. Также была зафиксирована зависимость положения резонанса на кривой (рис. 3) от параметров гофра.

В результате была показана возможность реализации квазисинхронизма в структуре с модулированным диэлектрическим волноводом, что

позволило увеличить мощность нелинейной генерации на один-два порядка. Подбор параметров гофра и структуры в целом позволит разработать наиболее оптимальные характеристики волноводов для практической реализации.

### Литература

1. *Дмитриев В.Г., Тарасов Л.В.* Прикладная нелинейная оптика. М., Физматлит, 2004.
2. *Алешкин В.Я., Афоненко А.А., Звонков Н.Б.* ФТП, 2001, 35 (10), 1256.
3. *Афоненко А.А., Алешкин В.Я., Дубинов А.А.* ФТП, 2004, 38 (2), 244.
4. *Afonenko A.A., Aleshkin V.Ya., Dubinov A.A.* Semicond. Technol., 2005, 20 (5), 357.
5. *Алешкин В.Я., Звонков Б.Н., Некоркин С.М., Кочаровский Вл.В.* ФТП, 2005, 39 (1), 171.
6. *Faist J., Hofstetter D., Beck M. et al.* // IEEE J. Quantum Electron. 2002. Vol. 38. N 6. P. 533–546.

## РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОКАПИЛЛЯРНОЙ АДИАБАТИЧЕСКОЙ ЛИНЗЫ

**Д. В. Новиков, П. В. Петров, Н. Н. Кольчевский**

Возможности управлять рентгеновским излучением с помощью той же техники, что и для видимой области спектра, ограничиваются особенностями взаимодействия рентгеновского излучения с веществом и техническими возможностями изготовления стабильных высокоточных микроструктур. В отличие от оптического диапазона, преломляющей линзой для рентгеновского излучения является двояковогнутая линза. Для сокращения фокусного расстояния такой линзы в 1996 г. было предложено использовать не одну, а большое количество (от 10 до 500) линз. Было выяснено, что диаметр линз не должен превышать сотен микрометров. В качестве материала для линзы должны использоваться слабопоглощающие рентгеновское излучение вещества, так как достижимые значения радиусов линз в основном зависят от коэффициента поглощения вещества. Для сокращения фокусного расстояния в составных линзах предлагалось использовать не одну, а большое количество (от 10 до 500) линз переменного радиуса. Такая линза, изготовленная на основе микрокапилляра, называется микрокапиллярной адиабатической рентгеновской линзой.

Целью данной работы является следующее: выяснить, при каких входных параметрах, составная преломляющая линза является адиабатической преломляющей линзой, а также найти оптимальные параметры адиабатической линзы. Критерием оптимальности будем считать минимальное фокусное расстояние  $F$  линзы. Расчеты выполнены с по

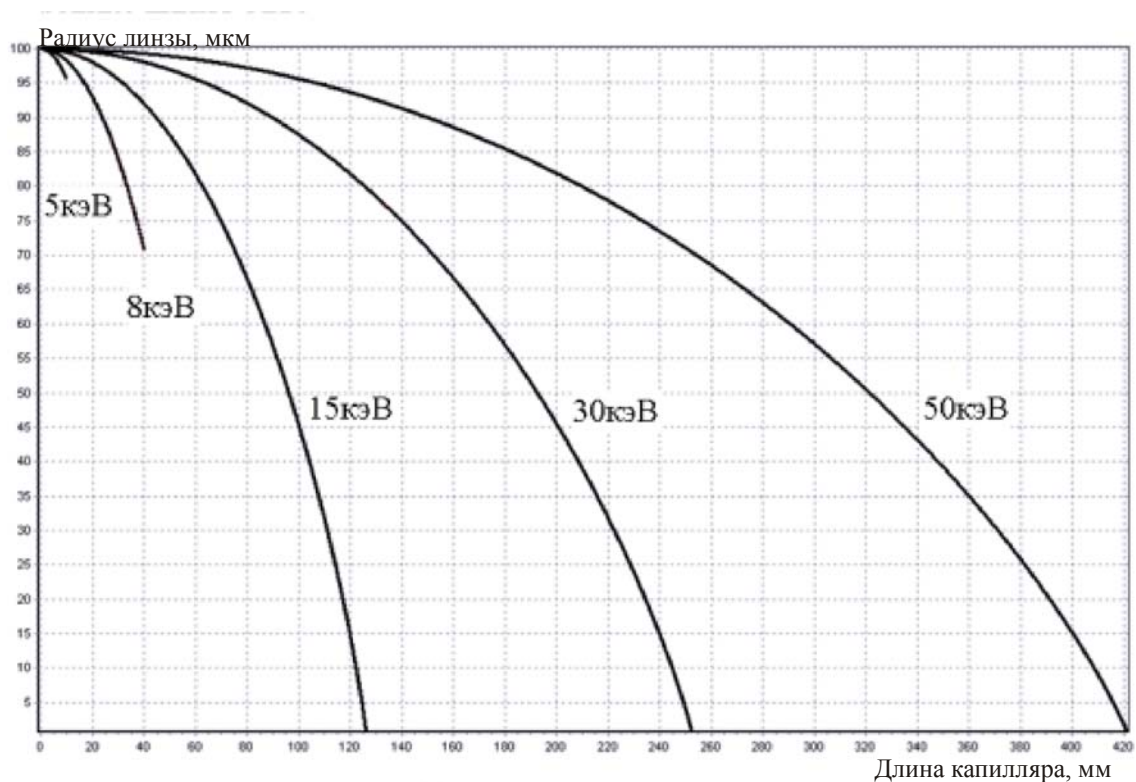


Рис. 1. Зависимости радиуса отдельной микролинзы от длины капилляра для рентгеновских фотонов с энергией 5-50 кэВ и начальным радиусом 100мкм (H/R=0.3)

мощью разработанной программы “X-ray - AMRXL”, моделирующей распространение рентгеновского излучения в приближении геометрической оптики. Геометрия линзы и коэффициент поглощения вещества ограничивают длину пути рентгеновского луча в веществе линзы. Максимально возможная длина пути луча в веществе линзы  $X$  рассчитывалась из условия, что интенсивность рентгеновского луча уменьшается в  $e$  раз, по сравнению с начальным:

$$I = I_0 e^{-\mu X} \quad (1)$$

где  $\mu$  – коэффициент поглощения,  $X$  – длина пути луча в веществе.

Используя формулу (1) найдем максимальную длину пути луча в веществе линзы  $X$  для различных энергий рентгеновских фотонов  $E_f$  и соответствующих им линейных коэффициентов поглощения  $\mu$  (табл.1).

Таблица 1.

**Результаты расчета максимальной длины пути луча в веществе линзы.**

$E_f(\text{кэВ})$	5	8	15	30	50
$\mu(\text{см}^{-1})$	21	5	0,82	0,32	0,24
$X(\text{мкм})$	48	200	1220	3125	4167

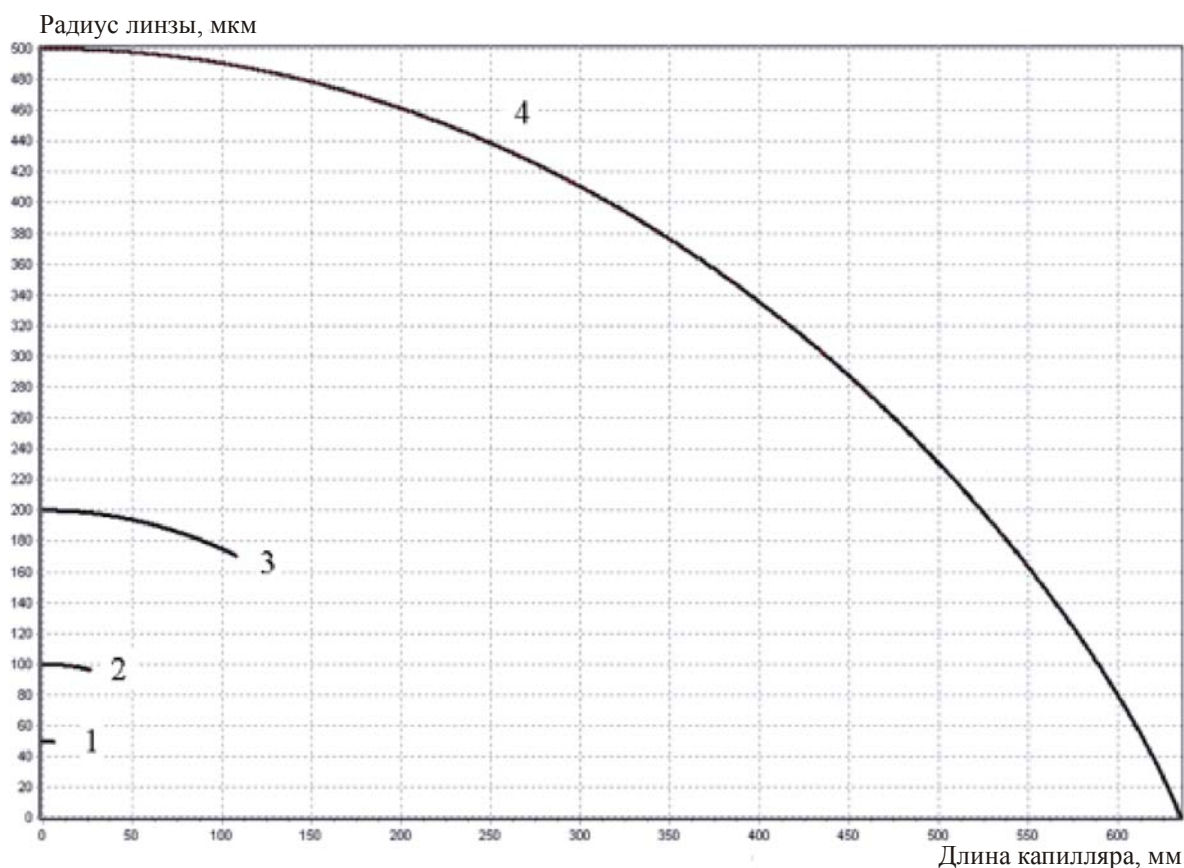


Рис. 2. Графики зависимости радиуса отдельной микролинзы от длины капилляра для рентгеновских фотонов с энергией 15 кэВ и  $H/R=0.3$ .  
Начальные радиусы микролинз: 1- 50мкм, 2 – 100 мкм, 3 – 200 мкм, 4 – 500 мкм.

Для расчета функции изменения радиусов отдельных микролинз принимались постоянство отношения высоты заданного луча над оптической осью к радиусу текущей линзы  $H/R$ . Расчёты выполнены для рентгеновских фотонов с энергией 5-50 кэВ и для адиабатической микрокапиллярной преломляющей линзы с входными радиусами 100мкм. Точечный источник рентгеновского излучения расположен на бесконечности. Рассчитывались графики зависимости радиуса отдельной микролинзы от длины капилляра (рис.1.) и фокусные расстояния адиабатической микрокапиллярной линзы.

Расчеты показали, что наименьшее фокусное расстояние  $F$  наблюдается при энергии рентгеновских фотонов  $E_f=15$ . Установлено, что функция описывающая зависимости радиуса отдельной микролинзы от длины капилляра профиля адиабатической микрокапиллярной линзы зависит от геометрии эксперимента и энергии рентгеновских фотонов.

Результаты расчета зависимости радиуса отдельной микролинзы от длины капилляра и фокусные расстояния адиабатической микрокапиллярной линзы при энергии рентгеновских фотонов равной  $E_f$  равной 15 КэВ,

изменяющихся начальных радиусах линзы  $R$  и  $H/R=0.3$  показаны на рис.2.

Установлено, что при значении  $H/R$  более 0.5 для энергии рентгеновских фотонов 15 кэВ и случая бесконечного источника рентгеновские линзы не являются адиабатическими. Фокусное расстояние адиабатических микрокапиллярных линз уменьшается с уменьшением радиуса первой линзы и ограничивается максимальной длиной пути луча в веществе линзы и дифракцией. Расчеты показывают, что возможно изготовить адиабатическую микрокапиллярную линзу, характеризующуюся фокусным расстоянием менее 10 см.

Разработанное программное обеспечение “X-ray - AMRXL” позволяет рассчитывать геометрические размеры адиабатических микрокапиллярных рентгеновских линз и их рентгенооптические характеристики. Установлено, что адиабатическая микрокапиллярная линза имеет минимальное фокусное расстояние для энергий рентгеновских фотонов 15 кэВ.

### Литература

1. *Schroer C. G., Lengeler B.* Focusing Hard X Rays to Nanometer Dimensions by Adiabatically Focusing Lenses., Hamburg, Germany. 2005.

## ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПОРОГА ГЕНЕРАЦИИ ГЕТЕРОЛАЗЕРА В СИСТЕМЕ GAINASSB–ALGAASSB

Е. П. Сачков, В. М. Стецик, И. С. Манак

### ВВЕДЕНИЕ

Величина порогового тока полупроводниковых инжекционных лазеров – одна из важных характеристик этих приборов. Как известно, с повышением температуры порог генерации возрастает. В общем случае график  $j_{th}(T)$  можно разбить на два или три участка: от предельно низких температур до  $T_1$  – участок постоянного или медленного роста  $j_{th}(T)$ , от  $T_1$  до  $T_2$  – пологий участок экспоненциального роста  $j_{th}$ , выше  $T_2$  – участок более крутого экспоненциального роста. Второй и третий участки зависимости  $j_{th}(T)$  аппроксимируются формулой

$$j_{th}(T \geq T_i) = j_{th}(T_i) \exp \frac{T - T_i}{T_{0i}} \sim \exp \frac{T}{T_{0i}}, \quad (1)$$

где  $i = 1, 2$ ;  $T_{0i}$  – параметры аппроксимации. Очевидно, чем меньше  $T_{0i}$ , тем быстрее увеличивается порог с ростом температуры. Параметры  $T_{0i}$  служат индивидуальной характеристикой каждого лазера [1].

Исследованию температурной зависимости порогового тока лазеров на основе гетероструктур с квантовыми ямами посвящено большое количество работ, например, [2–4]. В настоящей работе измерена плотность порогового тока и определена характеристическая температура для лазерных гетероструктур на основе GaInAsSb-AlGaAsSb в диапазоне температур 250–320.

## ЭКСПЕРИМЕНТ

Экспериментальные исследования проводились на полупроводниковых лазерах на основе напряженной гетероструктуры GaInAsSb-AlGaAsSb с квантовыми ямами [5]. Длина волны излучения лазерных образцов при комнатной температуре составляет  $\lambda = 2.38$  мкм. Параметры лазерных диодов следующие: длина резонатора Фабри-Перо  $l = 1.56$  мм, ширина полоскового контакта  $w = 100$  мкм, пороговый ток в импульсном режиме при комнатной температуре  $I_{th} = 220$  мА.

На рисунках 1 и 2 приведены измеренные вольт- и ваттамперные характеристики исследуемого лазера. Рабочая температура полагалась равной 300 К.

Измерение порогового тока проводилось в температурном диапазоне 254–315 К в двух режимах: охлаждения и нагревания. В режиме охлаждения рабочую температуру понижали от 288 до 254 К, в режиме нагрева ее повышали от 254 до 315 К. Измерения проводились с помощью электронного осциллографа «Bordo».

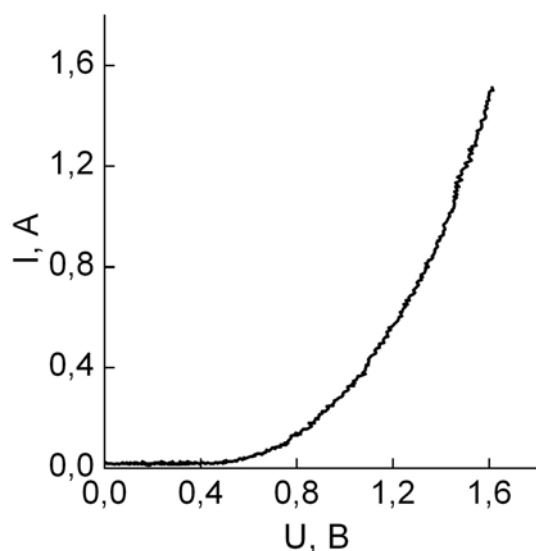


Рис.1. Вольтамперная характеристика лазерного диода GaInAsSb-AlGaAsSb

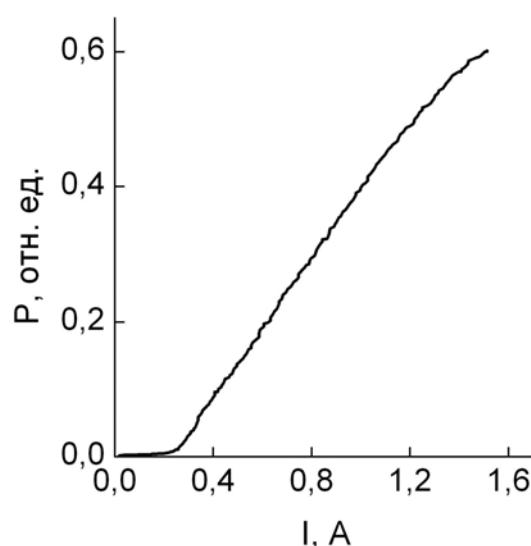


Рис.2. Ваттамперная характеристика гетеролазера GaInAsSb-AlGaAsSb

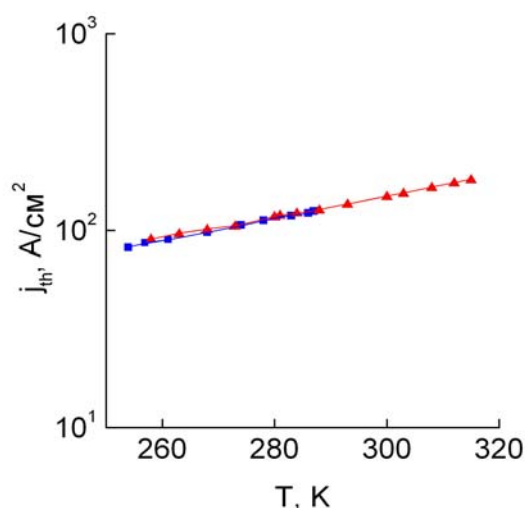


Рис.3. Температурная зависимость плотности порогового тока лазерного диода на основе гетероструктуры GaInAsSb–AlGaAsSb: ■ –режим охлаждения, ▲ –режим нагрева

На рисунке 3 представлена зависимость плотности порогового тока от температуры. Для исследуемого лазера наблюдается практически экспоненциальная зависимость  $j_{th}(T)$  с одним характеристическим параметром  $T_{01}$ .

Следует иметь в виду, что рабочая температура активной области может отличаться от измеренной температуры на некоторую величину. Отметим, что в процессе измерений термopара, с помощью которой определялась рабочая температура, не имела непосредственного контакта с активной областью.

Это может отразиться на полученной зависимости  $j_{th}(T)$ . Однако, по-видимому, существенные изменения наблюдаемой температурной зависимости порога генерации будут проявляться при более высоких температурах  $T > 320$  К.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

С помощью формулы (1) по экспериментальным данным рассчитаны значения характеристической температуры для шести областей рабочих температур. Данные сведены в таблицу 1.

Таблица 1

$T$ , К	$T_0$ , К	$\langle T_0 \rangle$ , К
260	79,8	76,1
270	77,2	
280	71,3	
293	72,8	
300	77,3	
315	78,1	

Среднее значение характеристической температуры для данного типа лазеров оказалось равным  $\langle T_0 \rangle = 76,1$  К. Это свидетельствует о достаточно сильной зависимости порога генерации от температуры в диапазоне 260–320 К. Причем в этом диапазоне рабочих температур можно использовать одно значение характеристической температуры.



В полупроводниках при высоких уровнях возбуждения носителей преобладают два процесса рекомбинации: излучательная рекомбинация и безызлучательная ударная рекомбинация (оже-процесс). При высоких температурах безызлучательные процессы уменьшают квантовый выход люминесценции, что увеличивает пороговый ток лазеров. Скорость оже-рекомбинации влияет не только на значение порогового тока лазера, но и отражается на его температурной зависимости. Чем выше скорость оже-рекомбинации, тем меньше характеристическая температура и хуже температурная стабильность лазера. Следовательно, можно сделать вывод, что в полупроводниковых лазерах на основе гетероструктуры GaInAsSb–AlGaAsSb при температурах выше 260 К существенна роль безызлучательных оже-процессов и их влияние на пороговый ток. Ослабление влияния безызлучательных оже-процессов на порог генерации возможно при изготовлении лазеров на основе асимметричных многослойных квантоворазмерных гетероструктур [6].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведены исследования температурной зависимости порогового тока в лазерной гетероструктуре на основе GaInAsSb–AlGaAsSb в диапазоне температур 254–315 К. Величина характеристической температуры  $T_0$  составляет порядка 80 К, что может быть обусловлено высокой скоростью оже-рекомбинации в активной области квантоворазмерной гетероструктуры.

*Авторы выражают благодарность Кононенко В. К. за интерес к работе и полезное обсуждение результатов.*

## Литература

1. Грибковский В. П., Полупроводниковые лазеры. Мн., 1988.
2. Suchalkin S. et al., Mechanism of the temperature sensitivity of mid-infrared GaSb-based semiconductor lasers, Appl. Phys. Lett. 87, no. 4 (2005): 041102.
3. Баженов Н. Л. и др., Температурная зависимость порогового тока лазеров на квантовых ямах, ФТП 39, № 10 (2005): 1252–1256.
4. Adamiec P et al., Threshold currents under pressure in InGaAsSb/AlGaAsSb laser diodes, Phys. stat. sol. b 244, no. 1 (2007): 187–191.
5. Joullie A., Christol P., GaSb-based mid-infrared 2–5  $\mu\text{m}$  laser diodes, C. R. Physique 4, no. 6. (2003): 621–637.
6. Kononenko V. K., Ushakov D. V., Sukhoivanov I. A., Mashoshina O. V. Control of influence of Auger recombination on the threshold in asymmetric quantum-well lasers, Proc. LFNМ 2004, Kharkiv (2004): 107–111.

# РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОИСКА КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ В СЛИТНОЙ РЕЧИ НА ОСНОВЕ СКРЫТЫХ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ

А. В. Ткачения

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОИСКА КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ

Используя описанные в предыдущих работах методы поиска ключевых слов [1], построим систему поиска ключевых слов в слитной речи для задачи поиска цифр в речевом сигнале.

Общая схема системы поиска ключевых слов приведена на рисунке 1.

В качестве акустической модели были выбраны трифоны со связанными состояниями. Количество состояний для одного трифона равно трем, закон распределения параметров – гауссов.

Трифонная акустическая модель со связанными состояниями хорошо описывает акустические особенности слитной речи и позволяет избежать проблемы нехватки обучающих данных. Также выбранная акустическая модель предотвращает чрезмерную адаптацию на обучающем наборе данных, которая может приводить к существенному снижению эффективности распознавания в дикторонезависимых системах.



Рис. 1. Общая схема системы поиска ключевых слов

Чтобы получить высокую эффективность системы распознавания слов в слитной речи, лингвистическая модель должна полностью учитывать взаимосвязь между всеми словами, тем самым, влияя на вероятность появления слова в данном контексте.

Для решения задачи распознавания цифр в слитной речи наиболее пригодна равновероятностная биграмная лингвистическая модель.

Систему распознавания слов в слитной речи построим при помощи программного пакета НТК [2], где в качестве классификатора используется СММ [3].

Декодирование осуществляется на основе СММ, так как эта модель хорошо согласуется с задачей распознавания речи, дает устойчивую вероятностную модель речи и имеет высокоэффективные методы анализа полученных данных.

Одним из самых важных этапов в системе распознавания речи является параметризация исследуемого речевого сигнала, с целью получения устойчивых акустических векторов признаков.

Для повышения эффективности системы поиска ключевых слов был разработан ВП на основе схожести нормированных выровненных вейвлет-картин.

Для оценки эффективности полученного ВП, были построены две системы распознавания речи на основе вейвлетных ВП (дискретное вейвлет-преобразование – ДВП) [4] и кепстральных ВП (мел-частотные кепстральные коэффициенты – МЧКК) [5]. Зашумленный сигнал получается при помощи смешивания исходного речевого сигнала с обыкновенным гауссовым шумом. Полученные в ходе экспериментов результаты приведены в табл. 1.

Главным этапом системы поиска ключевых слов является верификация распознанной речи и выделение из нее ключевых слов [6].

*Таблица 1*

<b>Эффективность распознавания зашумленной речи для 1-ого диктора</b>		
Уровень шума, дБ	МЧКК	ДВП
0 дБ	98 %	97 %
1 дБ	72 %	95 %
2,5 дБ	39 %	89 %
5 дБ	14 %	82 %

В работе [7] описаны различные типы мер достоверности, использующиеся для верификации распознанной речи. Наиболее эффективными являются меры достоверности на основе графа слов. Для использования таких мер достоверности необходимо в начале построить граф слов на основе лучших гипотез о последовательности распознанных слов. В качестве лучших гипотез будем брать  $N$ -лучшие результаты, получаемые на выходе системы распознавания речи.

Для оценки зависимости эффективности системы поиска ключевых слов от количества лучших гипотез, используемых для генерации графа слов, была построена соответствующая система на основе МЧКК и ДВП. Полученные результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Зависимость эффективности поиска ключевых слов от количества лучших гипотез для 1-ого диктора**

Кол-во лучших гипотез, шт.	МЧКК	ДВП
1	87 %	84 %
5	91 %	88 %
10	93 %	91 %
50	94 %	93 %

## ЭКСПЕРИМЕНТ

Для исследования эффективности системы поиска ключевых слов в слитной речи, предложенной в этой статье, проведем эксперимент по поиску цифр в потоке спонтанной слитной речи.

Обучающие данные представляют собой отдельные цифры или их последовательности. Для каждого обучающего файла известна его транскрипция по словам.

Проверочные данные представляют собой отдельные цифры или их последовательности вперемешку со спонтанной речью. В транскрипции по словам для проверочных данных присутствуют только сведения о ключевых словах (цифры) и задаются они следующим образом: начальное и конечное время, а также название соответствующей цифры.

Полученные результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Эффективность поиска цифр в зашумленной слитной речи 10-и дикторов для случая выбора 10-и лучших гипотез**

Уровень шума, дБ	МЧКК	ДВП
0 дБ	89 %	84 %
1 дБ	65 %	82 %
2,5 дБ	34 %	77 %
5 дБ	12 %	71 %

## ВЫВОДЫ

В данной статье были построены две системы поиска ключевых слов в слитной речи на основе МЧКК и ДВП. Проанализируем полученные результаты представленные в табл. 1-3.

Как видно из табл. 1, эффективность системы распознавания зашумленной речи для разработанного вектора признака на основе ДВП намного выше, чем для аналогичной системы на основе МЧКК. Для не зашумленной речи обе системы показали хорошие результаты: 97% и

98% соответственно. Из этого можно сделать вывод о предпочтительном использовании вейвлетной параметризации речевого сигнала, особенно для решения прикладных задач связанных с анализом зашумленного сигнала.

Недостатком разработанного вектора признака на основе ДВП является большое количество параметров ВП – 214, против 39 у МЧКК. Это приводит к увеличению размера получаемых моделей и возрастанию времени анализа и обработки полученных данных.

Результаты, приведенные в табл. 2, подтверждают тот факт, что разработанный вейвлетный ВП является избыточным. Это приводит к неточностям в распознавании речи, из-за чего возрастают ошибки при подсчете меры достоверности, и как следствие, к неправильному выбору ключевых слов на этапе верификации.

Верификация ключевых слов для случая использования 1-ой лучшей гипотезы фактически представляет собой выбор слов, апостериорная вероятность которых превышает заданное пороговое значение (верификация на основе графа слов не используется). Это приводит к низкой эффективности верификации. Результаты, приведенные в табл. 3, свидетельствуют о действительной эффективности системы поиска ключевых слов в спонтанной слитной речи, полученной в ходе написания этой статьи.

### Литература

1. Ткачя А. В. Разработка методов поиска ключевых слов в слитной речи на основе скрытых марковских моделей // Сборник работ 66-й научной конференции студентов и аспирантов БГУ. Минск, 18-21 мая 2009. Минск, Издательский центр БГУ, 2010, Ч 1, С 187-191.
2. Young S., Everman, G., Gales M., Hain T., Kershaw D., Liu X., Moore G., Odell J. Ollason D., Valtchev V. / The HTK Book (for HTK Version 3.4). 2006.
3. Rabiner L. A. Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition // IEEE Press. 1988. С. 257–286.
4. Бовбель Е. И., Хейдоров И. Э., Пачковский Ю. В. / Скрытые марковские модели и машины на опорных векторах от практики к теории. Минск БГУ, 2008.
5. Xuedong Huang, Alex Acero, Hsiao-Wuen Hon / Spoken language processing. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey, 2001.
6. Янь Цзинбинь, У Ши, Ткачя А.В., Хейдоров И.Э. Поиск ключевых слов в слитной речи на основе усовершенствованной меры достоверности // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 1. 2009. № 3. С. 44–48.
7. Wessel F., Schluter R., Macherey K., Ney H. Confidence Measures for Large Vocabulary Continuous Speech Recognition // IEEE Transactions on Speech and Audio Processing, 2001. Вып. 3, гл. 9.

# **ПЕРСОНАЛЬНЫЕ И СЕРВИСНЫЕ СЕРТИФИКАТЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ГРИД-СЕТЯХ**

**Р. М. Томашевский, Н. В. Серикова**

## **ВВЕДЕНИЕ**

ГРИД-структуры объединяют автономные системы – от персональных компьютеров до суперкомпьютеров. Они дают компаниям и разработчикам возможность совместно использовать процессорные ресурсы и данные, невзирая на географические границы и принадлежность к той или иной организации. Соответствующая технология позволяет преобразовывать вычислительную инфраструктуру в интегрированную повсеместную виртуальную среду.

ГРИД – согласованная, открытая и стандартизованная среда, которая обеспечивает гибкое, безопасное, скоординированное разделение ресурсов в рамках виртуальной организации [1].

Использование ГРИД-технологий позволяет: организовать эффективное использование ресурсов для небольших заданий, с утилизацией временно простаивающих компьютерных ресурсов; осуществлять распределенные супервычисления, для решения сложных задач, которые требуют огромных процессорных ресурсов и памяти.

Наряду с проблемой объединения компьютеров в единую ГРИД-сеть, существуют проблемы обеспечения информационной безопасности при использовании ГРИД-сетей, разнесенных на большие расстояния. Становится острым вопрос обеспечения конфиденциальности и целостности данных [2]. Необходимо также решать вопросы аутентификации и авторизации пользователей для выделения им полномочий на использование ресурсов других университетов и организаций. Решение этих вопросов основано на использовании персональных и сервисных сертификатов, выдачу которых осуществляет центр выдачи сертификатов, который и является гарантом соблюдения правил информационной безопасности в ГРИД-сетях.

## **СТРУКТУРА И ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦЕНТРА ВЫДАЧИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ И СЕРВИСНЫХ СЕРТИФИКАТОВ**

Центр выдачи персональных и сервисных сертификатов (центр сертификации) – это компонент ГРИД-сети, отвечающий за управление криптографическими ключами пользователей и служб. Информация о службах

ГРИД-сети хранятся в виде сервисных сертификатов. Открытые ключи и другая информация о пользователях хранится центрами сертификации в виде цифровых персональных сертификатов формата X.509 [3].

Сервисные сертификаты необходимы для аутентификации служб ГРИД-сети между собой и их корректной работы. Персональные сертификаты пользователей используются для авторизации пользователей в ГРИД-сети и запуск заданий в этой сети от имени пользователя.

Центр выдачи сертификатов выполняет следующие функции:

- регистрирует электронные цифровые подписи;
- создает по обращению пользователей закрытые и открытые ключи ЭЦП;
- приостанавливает и возобновляет действие сертификатов ключей подписей, а также аннулирует их;
- ведет реестр сертификатов ключей подписей, обеспечивает актуальность реестра и возможность свободного доступа пользователей к реестру;
- выдает сертификаты ключей подписей в виде электронных документов с информацией об их действительности.

Центр выдачи сертификатов решает проблемы связанные с авторизацией пользователей в ГРИД-сетях. Подписывая электронный сертификат пользователя, центр сертификации, тем самым, дает пользователю набор прав на использование ГРИД. Выдавая полномочия на использование ресурсов ГРИД-сети только тем пользователям, которые имеют на это разрешение, центр выдачи сертификатов решает вопросы, связанные с обеспечением конфиденциальности и целостности данных. Неавторизованный пользователь не может получить доступ к службам ГРИД и нарушить их функционирование. Таким образом, допуск к ГРИД получают только пользователи с определенным набором прав.

## **ГРИД-СЕТЬ ФАКУЛЬТЕТА РАДИОФИЗИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ**

Для создания ГРИД-сети факультета Радиофизики и Электроники использовался программный пакет промежуточного уровня UNICORE [4]. Платформа UNICORE написана на языке Java, что обеспечивает межплатформенную переносимость и совместимость с различными операционными системами. Выигрыш, который получает пользователь UNICORE – однородный доступ к разного рода системам, а значит и больше возможностей по получению ресурсов.

UNICORE состоит из следующих основных компонент:

- шлюз (Gateway) аутентифицирует запросы на связь, используя сертификаты приложений и серверов;

- интерфейс целевой системы TSI осуществляет запуск задачи на целевой системе от имени пользователя;

- UNICORE/X запрашивает данные XUUDB для авторизации пользователя и транслирует абстрактные задания и ресурсные запросы в зависимости от платформы команды и опции. Затем задания передаются в TSI на выполнение;

- база данных XUUDB содержит таблицы пользовательских сертификатов и их логины, а также управляет доступом к ресурсам UNICORE.

Центр выдачи сертификатов, отвечающий за выдачу сертификатов пользователям для доступа к ресурсам ГРИД, в UNICORE не реализован. UNICORE поставляется с демо-версией сертификатов, которые необходимы только для первичной настройки ГРИД-сети. Для дальнейшего использования UNICORE сертификаты служб должны быть заменены при помощи центра выдачи персональных и сервисных сертификатов.

Центр выдачи персональных и сервисных сертификатов факультета Радиофизики и Электроники состоит из двух частей:

- отдельного клиентского модуля для генерации запроса на сертификат;
- web-интерфейса серверной части для подписи сертификата.

Клиентская часть центра выдачи сертификатов была реализована в виде отдельного модуля, написанного на языке программирования Java с использованием криптографических библиотек [5]. Клиентская часть центра выдачи сертификатов позволяет пользователю:

- создать хранилище для пары закрытый/открытый ключ и сертификата в формате jks (стандартный тип хранилища для хранения ключей и сертификатов в пакете UNICORE);
- сгенерировать пару открытый/закрытый ключ длиной 1024 бит;
- создать запрос на сертификат в формате X.509;
- экспортировать запрос на сертификат для подписи в центр сертификации;
- импортировать подписанный сертификат в хранилище для дальнейшего использования в составе пакета UNICORE.

Серверная часть центра выдачи сертификатов, также как и клиентская, была разработана на языке Java. Однако, в отличие от клиентской, была реализована в виде web-интерфейса для обеспечения доступа к ней из любой точки локальной сети, что значительно упрощает получение сертификата на допуск в ГРИД для пользователя.

К web-интерфейсу можно подключиться двумя способами: как пользователь (для отправки запроса на сертификат), и как администратор, введя соответствующий логин и пароль.



При работе с web-сайтом пользователь может отправить запрос на сертификат, просмотреть списки выданных и отозванных сертификатов, получить более подробную информацию о том, как нужно генерировать запрос на сертификат.

Администратору, в отличие от пользователя, доступен гораздо больший функционал. Администратор может:

- подписать или нет сертификат пользователя, тем самым разрешить или запретить пользователю использовать ресурсы ГРИД-сети;
- отозвать сертификат пользователя, при этом сертификат пользователя будет перемещен в список отозванных сертификатов;
- просмотреть все выданные или отозванные сертификаты;
- при необходимости продлить время действия того или иного сертификата.

### **Литература**

1. Foster I., Kesselman C., Tuecke S. The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations // International J. of Supercomputer Applications and High Performance Computing. -2001. - Т. 15, No 3. -Р. 200-222.
7. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 4-ое издание. Питер, 2003.
8. Шнайер Б. Прикладная криптография. 2-е издание-1995
9. Интернет-адрес: [www.unicore.eu/documentation](http://www.unicore.eu/documentation)
10. Интернет-адрес: [www.bouncycastle.org](http://www.bouncycastle.org)

## **АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДАННЫХ ИНЕРЦИАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ОРИЕНТАЦИИ И НАВИГАЦИИ**

**М. А. Чертков, Л. В. Калацкая**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Современные достижения в области информационных технологий существенно расширяют возможности подвижных объектов различного назначения. Значительную роль в этом процессе играет решение задач ориентации и навигации объектов. Системы, решающие эти задачи, объединяются в информационно-управляющие комплексы ориентации и навигации (КОН) [1].

Как правило, в роли устройств определения местоположения в пространстве выступают инерциальная и спутниковая системы навигации [2-3]. Важно учесть в этом случае способы хранения и алгоритмы обработки

поступающей информации, обеспечивающие своевременную обработку данных и учет специфики использования комплекса.

## **СПЕЦИФИКА ИНЕРЦИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОРИЕНТАЦИИ И НАВИГАЦИИ**

Основными факторами, определяющими структуру и состав КОН, являются требуемая точность и надежность определения навигационных параметров. Кроме того, должны учитываться типы объектов, стоимость комплекса, условия эксплуатации, возможности технического обслуживания и ремонта, а для высокоточных комплексов малое время готовности.

В состав большинства КОН входят инерциальные навигационные системы и спутниковые навигационные системы, причем основой информационной части КОН являются инерциальные навигационные системы, что обусловлено их:

- высокой информативностью;
- полной автономностью;
- высокой точностью при ограниченном времени работы,
- высокой степенью помехозащищенности,
- высокой частотой обновления информации.

Вместе с тем, их недостатком является нарастающий характер ошибок, в результате чего данные должны периодически корректироваться от других систем навигации.

## **ОБРАБОТКА ДАННЫХ В КОН**

Данные в КОН обрабатываются на трех основных этапах:

- Первичная обработка: аналогово-цифровое преобразование данных от измерителей, осреднение показаний однотипных (избыточных) измерителей и сглаживание измерений (осреднение по времени), пересчет данных, представленных в координатных осях измерителей в навигационные системы координат.
- Комплексная обработка: выбор корректирующего алгоритма и формирование измерений, оценивание погрешностей, контроль процесса оценивания и вычисление дополнительных параметров.
- Программное формирование траекторий движения.

## МЕТОД ГАРАНТИРУЮЩЕГО РАССЕЙВАНИЯ (ЭЛЛИПСОИДОВ)

Метод гарантирующего оценивания, известный под названием «метод эллипсоидов» [4], является алгоритмом комплексной обработки информации, позволяющим совместить измерения от различных устройств, отдельно учитывая погрешность каждого из них. В качестве областей неопределенности используются эллипсоиды. Эллипсоид неопределенности с центром в  $m = [m_1, \dots, m_n]^T$  и размерами, определяемыми симметричной положительно определенной матрицей  $P$  размерности  $n \times n$ , представляет собой замкнутое выпуклое множество  $\Omega(m, P)$  векторов  $x = [x_1, \dots, x_n]^T$ , а именно:

$$\Omega(m, P) = \{(x - m)^T P^{-1} (x - m) \leq 1\}$$

Получив данные с нескольких независимых устройств навигации, и представив их в виде эллипсоидов, можно без итерационных циклов аппроксимировать их область пересечения эллипсоидом, центр которого будет характеризовать реальное положение объекта, и оценить погрешность полученных данных по объему эллипсоида.

В качестве примера рассмотрим задачу определения местоположения неподвижного объекта КОН. Пусть значение вектора измерения равно (2; 2) км, полная погрешность измерения не превышает 1 км и априорно известно, что объект находится в круге радиуса  $2\sqrt{2}$  км с центром в точке (0; 0).

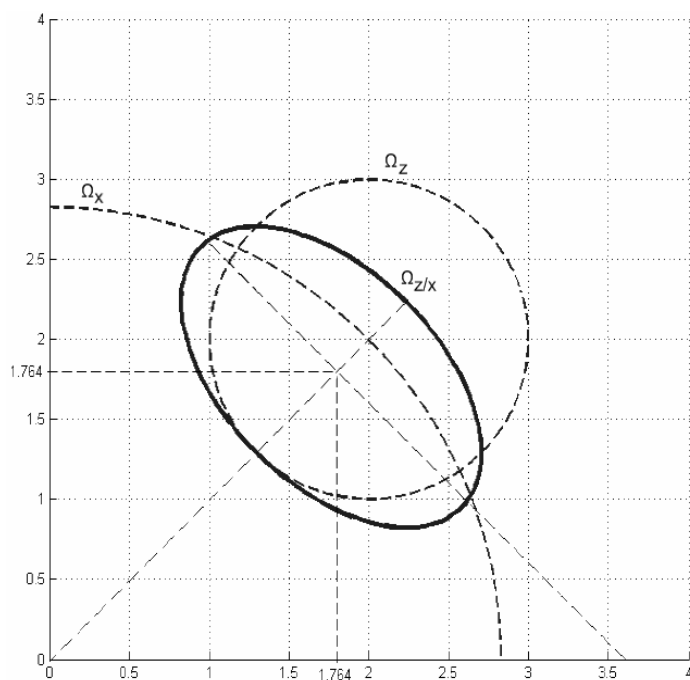


Рис. 1. Априорный  $\Omega_x$  измерительный  $\Omega_z$  и аппроксимирующий  $\Omega_{z/x}$  эллипсоиды

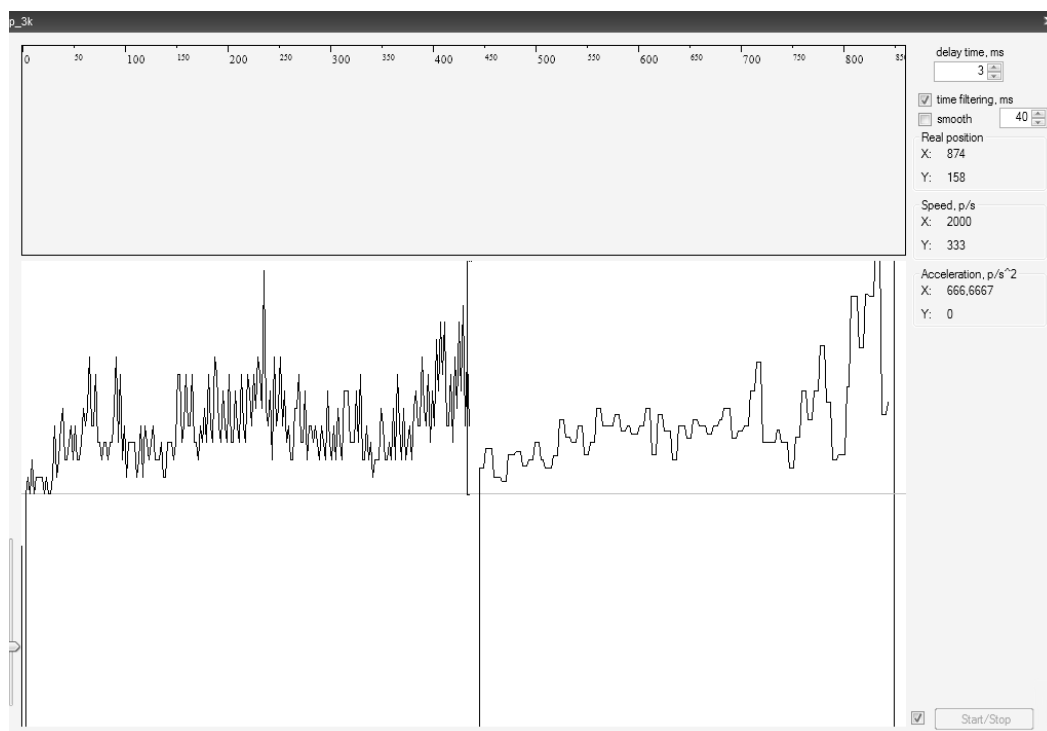


Рис. 2: Рабочее окно приложения

Тогда результат измерения местоположения можно представить в виде эллипсоида с центром (2; 2) и полуосями равными 1, а априорно известное местоположение – эллипсоидом с центром в (0; 0) и полуосями  $2\sqrt{2}$ . Область пересечения этих эллипсоидов является возможным местоположением объекта (рис. 1).

Аппроксимируя эту область эллипсоидом, можно определить наиболее вероятное положение объекта как центр эллипсоида, и оценить погрешность полученных измерений.

## МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА

На основе анализа возможностей датчика ADIS16355 фирмы Analog Devices [5] для имитации движения объекта и определения параметров движения предложена модель, реализованная в среде программирования C# (рис. 2). В качестве объекта движения использован курсор мыши, при этом графически отображается скорость курсора вдоль оси  $OX$ . Имеется возможность усреднить как арифметическое среднее анализируемые данные с выбранной частотой, задаваемой вручную.

Как видно из рабочего окна приложения, такое усреднение дает ощутимый результат: представленный в левой части график без усреднения имеет более резкие перепады, чем в правой.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе приведена краткая характеристика комплексов ориентации и навигации; рассмотрены особенности таких комплексов; проведен анализ одного из методов комплексирования координат – гарантирующего рассеивания (эллипсоидов).

Предложена модель движущегося объекта с усреднением по времени, реализованная в среде C#.

## Литература

1. *Алешин Б.С., Веремеенко К.К., Черноморский А.И.* Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 424 с.
2. *Шестов С.А.* Гироскоп на земле, в небесах и на море. М.: Знание, 1989. 192 с.
3. *Мартыненко Ю.Г.* Инерциальная навигация – Соросовский образовательный журнал, 1998, №8, с. 102-108.
4. *Черноустько Ф.Л.* Оценивание фазового состояния динамических систем. – М.: Наука, 1988. – 320 с.
5. Интернет-адрес: <http://www.analog.com/>

## ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОМИГРАЦИИ

**И. Г. Шалейко**

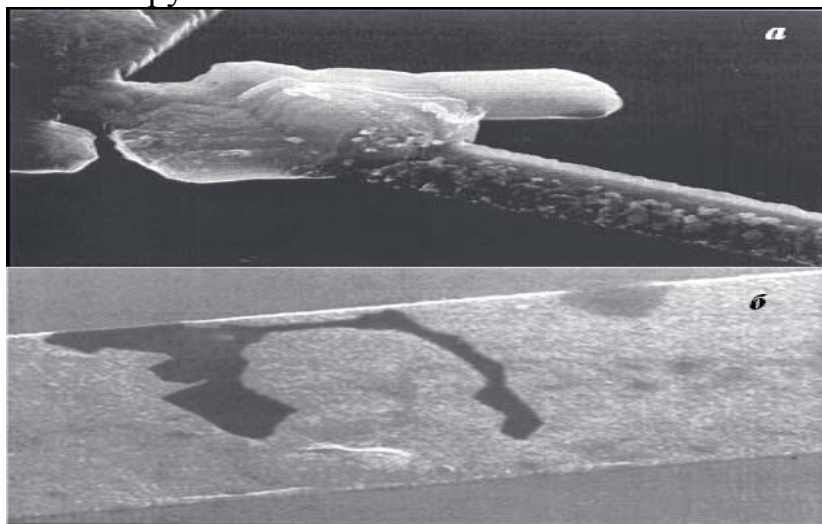
В последнее время наблюдается устойчивая тенденция повышения производительности полупроводниковых приборов за счет уменьшения характерных размеров элементов интегральных микросхем и создания более плотноупакованных многоуровневых микроэлектронных структур. Тем самым на смену микро- и субмикроэлектронике приходит наноэлектроника. Это обуславливает возрастающую актуальность проблемы надежности элементов нано- и микроэлектроники и, как следствие, моделирования процессов их разрушения и расчета долговечности. Один из основных видов отказов в работе интегральных микросхем связан с электромиграцией вакансий (ионов) в проводящих элементах, вызывающей их разрушение. Электромиграция – это процесс массопереноса в результате перескоков атомов на границах зерен в поликристаллическом материале под действием электрического тока.

Современное представление о процессе электромиграции базируется на следующих предположениях:

1. Основной причина, приводящая к электромиграции, является структурная неоднородность проводника.
2. Присутствует аномальный перенос вещества – образуются тонкопленочные микротрещины либо наросты в местах, где есть нарушение электромиграционного потока.

Развитие микротрещин с течением времени приводит к изменению электросопротивления проводника, а следовательно, к росту локальной температуры, что ведет к росту электромиграционного потока. Таким образом, микротрещина может достаточно быстро развиваться во времени и привести к отказу (рис.1).

Сама по себе электродиффузия не может привести к отказу (расплаву, разлому дорожки). Для того чтобы возник отказ вследствие обрыва проводника, необходимо нарушение непрерывности ионного потока. Причинами такого нарушения являются:



*Рис.1.* Нарушения проводника вследствие электромиграции:  
а – наросты, б – микротрещины

- зернограницная структура проводника (несовпадение границ, по которым стекаются и отходят ионные потоки в каком-либо поперечном сечении проводника);
- контакт металлов с различными коэффициентами диффузии;
- контакт областей с различными температурами (процесс является термоактивированным).

Целью работы было исследование физико-статистической модели процесса электромиграции в тонкопленочной металлизации субмикронных СБИС методом имитационного моделирования.

Для проведения вычислительного эксперимента был использован следующий алгоритм моделирования:

- формирование методом Монте-Карло стохастической зернограницной структуры тонкопленочного проводника;
- расчет величины электромиграционного потока в сечениях тонкопленочного проводника;
- вычисление величины приращения трещины с учетом изменения сопротивления и температуры тонкопленочного проводника.

Используя программу Em\_Model, было проверено распределение времени до отказа прибора на закон распределения. Для этого была сгенерирована выборка объемом 1000 элементов с исходными данными, соответствующим параметрам, используемым в современной субмикронной электронике. Для генерации времени работы до отказа было использовано эмпирическая зависимость, предложенная Дж. Блэком (рис. 2).

$$t = \frac{A}{J^n} \cdot \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right)$$

где  $A$  – это константа, основанная на перекрестной области соединения,  $J$  – плотность тока,  $E_a$  – энергия активации (0.7 эВ для зернограничной диффузии в алюминии),  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура,  $n$  – фактор.

Методами Хи-квадрат и Колмогорова-Смирнова экспериментально полученное распределение было проверено на сходимость с нормальным, лог-нормальным, Диффузионно-Марковским законами распределения и с распределением Вейбулла. Наиболее схоже экспериментальное распределение с нормальным законом распределения и с распределением Вейбулла.

Преобразуя это выражение к линейному виду и решив регрессионное уравнение, можно получить зависимость параметров сопротивления ( $B, n$ ) от параметров структуры системы, таких как: температура, плотность тока, ширина и толщина проводника. Параметры структуры изменялись в следующих пределах:

-Температура,  $T=375 \div 475$  К

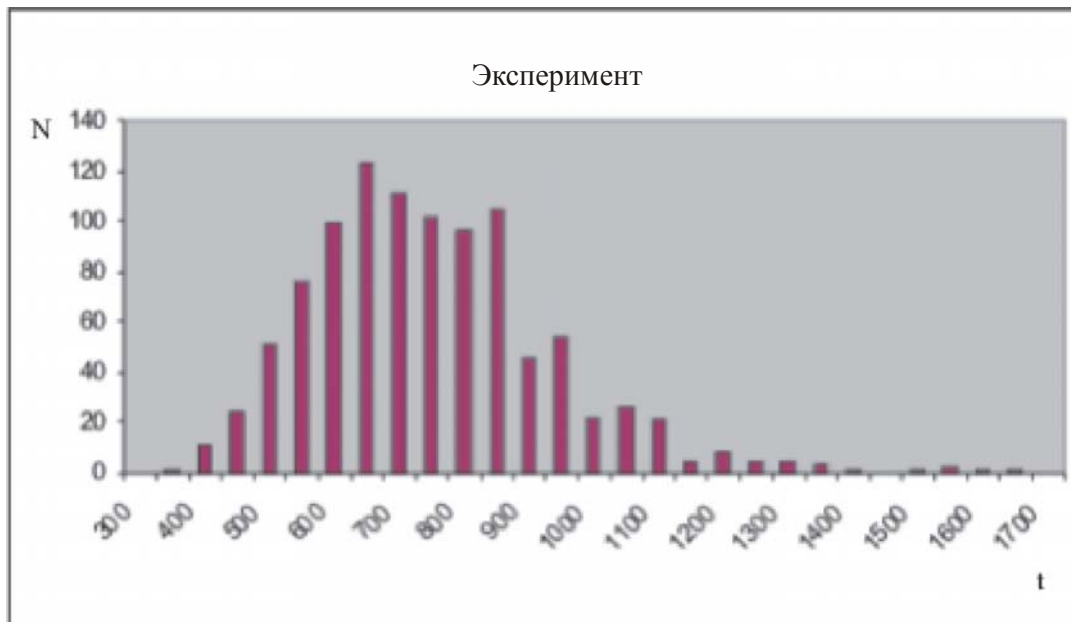


Рис.2. Гистограмма времени до отказа системы

-Ширина проводника:  $w=0,3 \div 1$  мкм

-Толщина проводника:  $h=0,3 \div 2$  мкм

-Плотность тока:  $j=5 \div 50 \cdot 10^9$  А/м<sup>2</sup>

Полученные зависимости приведены в таблице.

Таблица

**Зависимость параметров сопротивления (В, n) от параметров системы (ширины и толщины проводника, плотности тока, температуры)**

	В	N
T	$B = 3E-51T^{18,118}$	$n = 0,0087T - 2,2864$
W	$y = 9E-05 \ln(x) + 0,0001$	$n = -0,4807w + 1,513$
H	$B = -8E-06h + 0,0001$	$n = -0,0844h + 1,1516$
J	$B = 0,0004e^{0,0638j}$	$n = 0,0112j + 1,1674$

Из проведенного анализа видно, что показатель степени имеет линейную зависимость от параметров структуры, а постоянная скорости процесса имеет более сложный характер: степенной и логарифмический.

В работе был изучен процесс электромиграции, алгоритм его протекания, изменения сопротивления и распределения температуры в пленке при протекании процесса электромиграции. В ходе вычислительного эксперимента проведены исследования и получены зависимости времени работы до отказа тонкопленочных проводников от параметров эксплуатационного режима, таких как плотность тока, температура и от параметров структуры при постоянном токе, таких как ширина и толщина проводника. Полученные зависимости хорошо согласуются с аналитической формулой Блэка, описывающей время работы до отказа.

### Литература

1. *Black, J. R.* Electromigration – A brief survey and some recent results.// IEEE Transactions on Electronic Devices (April 1969), pp. 338-347.
2. *Black J.R.* Electromigration failure modes in aluminum metallization for semiconductor devices // Proc.IEEE.- 1969.- vol.57, № 9.- p.1587 – 1594
3. *Shoen J.M.* Monte Carlo calculations of structure - induced electromigration failure // J. Appl. Phys. 51(1). January 1980. P.513-521.
4. *Борздов В.М., Лабуда А.А., Молофеев В.М., Петрович Т.А.* Влияние структурных свойств тонких алюминиевых пленок на их надежность при электромиграции // Вакуумная техника и технология. 1994. Т. 4. № 4. С.56-58.
5. *Rodbell K.P., Rodriguez M.V., Ficalora P.J.* The kinetics of electromigration// J.Appl.Phys. Vol.61. № 8, 15 April 1987. P.2844-2848
6. *Blech I.A.* Electromigration in thin aluminum films on titanium nitride // J.Appl.Phys.,47, 4, pp. 1203-1208 (1976).



# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКА ФОТООТСЧЁТОВ С УЧЁТОМ ДВУХ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ МОЛЕКУЛ В СИСТЕМАХ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ ФЛУКТУАЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

И. П. Шингарёв, В. В. Скакун

## ВВЕДЕНИЕ

Во флуоресцентной флукуационной спектроскопии (ФФС) анализируются флуктуации интенсивности флуоресценции небольшого числа молекул, что даёт информацию об их структуре, количестве, динамике, излучательных свойствах и взаимодействиях [1]. Многие флуоресцирующие молекулы обладают двумя состояниями с разным квантовым выходом [2]. При этом молекула может спонтанно изменять своё состояние, что обусловлено, например, реакциями изомеризации [3], интеркомбинационной динамикой [4] или конформационными изменениями [5]. Учёт этих изменений при разработке методов анализа данных ФФС необходим для получения адекватных оценок параметров исследуемых образцов.

Предварительное тестирование метода анализа с целью установления его адекватности, точности, устойчивости и границ применения удобно проводить на данных, полученных с помощью имитационных моделей. В настоящей работе предлагается имитационная модель потока фотоотсчётов в ФФС при учёте диффузии флуоресцирующих молекул с двумя обратимыми излучательными состояниями. Особенностью модели является получение фотоотсчётов в виде случайного потока событий, что позволяет проводить тестирование методов анализа данных ФФС, основанных на построении различных характеристик потока.

## ТЕОРИЯ.

Система ФФС представляет собой совокупность образца и измерительной установки, выполненной на базе конфокального микроскопа [6]. При постоянной интенсивности возбуждающего излучения величина флуктуаций интенсивности флуоресценции может быть представлена как [7]:

$$\delta F(t) = \int_V W(r) \delta(qC(r,t)) dr, \quad (1)$$

где  $W(\mathbf{r})$  – нормированный профиль засветки, характеризующий пространственное распределение детектируемого излучения,  $q$  – характеристическая яркость, равная количеству фотонов, регистрируемых от моле-

кулы за единицу времени, и зависящая от её квантового выхода,  $C(\mathbf{r}, t)$  – локальная концентрация молекул.

Профиль засветки  $W(\mathbf{r})$  может быть аппроксимирован функцией вида [8]:

$$B(\mathbf{r}) = \exp\left[-2(x^2 + y^2)/\omega_0^2 - 2z^2/z_0^2\right], \quad (2)$$

где  $\omega_0$  и  $z_0$  определяют размеры области засветки,  $\mathbf{r} = (x, y, z)$ .

Для оценки размеров области, в которой молекулы преимущественно возбуждаются и излучают фотоны, вводится понятие эффективного объёма [9]:

$$V_{eff} = \left( \int_V W(\mathbf{r}) d\mathbf{r} \right)^2 / \int_V W^2(\mathbf{r}) d\mathbf{r}, \quad (3)$$

что позволяет оценивать концентрацию, находя число молекул  $N_{eff} = CV_{eff}$ , где  $C$  – концентрация молекул.

Одним из методов анализа данных ФФС является метод флуоресцентной корреляционной спектроскопии (ФКС), основанный на анализе автокорреляционной функции (АКФ) флуктуаций интенсивности [9]. Для случая свободно диффундирующих молекул с двумя излучательными состояниями  $A$  и  $B$  при учёте (2), АКФ флуктуаций интенсивности флуоресценции записывается как [10]:

$$G(\tau) = 1 + \frac{1}{N_{eff}} \left( 1 + \frac{\tau}{\tau_{Dj}} \right)^{-1} \left( 1 + \frac{\tau}{a^2 \tau_{Dj}} \right)^{-1/2} \left( 1 + \frac{F}{1-F} \exp\left[ -\frac{\tau}{\tau_p} \right] \right), \quad (4)$$

где  $\tau_D = \omega_0^2/4D$ ,  $a = z_0/\omega_0$ ,  $\tau_p = (K_{AB} + K_{BA})^{-1}$ ,  $F = K_{AB}K_{BA}(q_A - q_B)^2(K_{AB} + K_{BA})^{-1}(K_{AB}q_A^2 + K_{BA}q_B^2)^{-1}$ ,  $D$  – коэффициент диффузии молекул,  $K_{AB}$  и  $K_{BA}$  – частоты переходов между состояниями,  $q_A$  и  $q_B$  – характеристические яркости состояний.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКА ФОТООТСЧЁТОВ.

Будем считать, что молекулы независимы и время затухания флуоресценции молекул пренебрежимо мало по сравнению со временем моделирования наиболее быстрых процессов. Система уравнений, описывающая динамику переходов между состояниями  $A$  и  $B$ , может быть представлена в виде [3, 9]:

$$\frac{dS_A(t)}{dt} = K_{BA}S_B(t) - K_{AB}S_A(t), \quad \frac{dS_B(t)}{dt} = K_{AB}S_A(t) - K_{BA}S_B(t), \quad (5)$$

где  $S_A(t)$ ,  $S_B(t)$  – вероятности обнаружения молекулы в соответствующем состоянии в момент времени  $t$ , при этом начальные условия  $S_A(0)=1$ ,  $S_B(0)=0$ .

Из (5) следует, что вероятности обнаружения молекулы в состояниях  $A$  и  $B$  выражаются как

$$p_A = K_{BA}/(K_{AB} + K_{BA}), \quad p_B = K_{AB}/(K_{AB} + K_{BA}). \quad (6)$$

Для нахождения распределения моментов времени, в которые молекула меняет своё состояние, рассмотрим динамику выхода из состояния  $A$ . Для этого решим первое уравнение системы (5) без слагаемого  $K_{BA}S_B(t)$  [11]. Решением этого уравнения является  $f_A(t)=\tau_A^{-1}\exp(-t/\tau_A)$ , где  $\tau_A=1/K_{AB}$  – среднее время нахождения в состоянии  $A$  (рассуждения для  $B$ -состояния аналогичны). Вероятности перехода в противоположное состояние по истечении промежутка времени  $\Delta t_A$  или  $\Delta t_B$ , выразятся как:

$$p_{\Delta t_A} = 1 - \exp(-\Delta t_A / \tau_A), \quad p_{\Delta t_B} = 1 - \exp(-\Delta t_B / \tau_B). \quad (7)$$

В модели предполагается, что за  $\Delta t_A$  ( $\Delta t_B$ ) перемещение молекулы незначительно, поэтому, при постоянном возбуждающем излучении, интенсивность регистрации фотонов от неё также постоянна в течение этого промежутка времени. Тогда поток фотоотсчётов от молекулы будет стационарным потоком Пуассона [12], события которого на  $[T_0; T_m]$  вычисляются как  $t_i = t_{i-1} - \lambda^{-1} \ln \alpha_i$ , где  $\lambda$  – интенсивность потока,  $\alpha$  – реализация случайной величины с равномерным распределением на  $[0;1]$ ,  $t_0 = T_0$ . Генерация событий происходит до тех пор, пока не будет превышена граница  $T_m$  [13].

Область моделирования (ОМ) представляет собой прямоугольный параллелепипед, с началом координат в точке пересечения его диагоналей. Моделирование диффузии проводится по методу случайных блужданий: координатам молекул придаются приращения, имеющие гауссово распределение с нулевым математическим ожиданием и дисперсией  $\sigma^2 = 2D\Delta t$ , где  $D$  – коэффициент диффузии молекулы,  $\Delta t$  – время перемещения [14] Для поддержания постоянной концентрации молекул в ОМ используются периодические граничные условия.

Пользуясь предположением о независимости молекул, можно получать поток фотоотсчётов от каждой молекулы по отдельности и затем объединять их в один поток. Вначале молекула с равной вероятностью помещается в одну из точек ОМ и задаётся её начальное состояние по (6). Подсчитывается интенсивность регистрации фотоотсчётов  $\lambda(t_i^S)=q_S B(\mathbf{r}_i)$ , где  $t_i^S$  – момент перехода молекулы в определённое состояние  $S$  ( $A$  или  $B$ ),  $q_S$  – характеристическая яркость молекулы. Генерируется интервал времени  $t_{i+1}^S - t_i^S = \Delta t_S = -\tau_A \ln(1-\alpha)$ . На этом интервале генерируется поток Пуассона с интенсивностью  $\lambda(t_i^S)$ . Состояние молекулы меняется на противоположное и, в соответствии с процедурой моделирования диффузии при  $\Delta t = \Delta t_S$ , молекула перемещается в но-

вую точку ОМ. Эти шаги повторяются до тех пор, пока  $t_{i+1}^S$  не превысит заданное время моделирования  $T$ .

### ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ.

Для доказательства адекватности разработанной модели были проведены численные эксперименты. Параметры функции засветки  $\omega_0 = 0,3$  мкм,  $z_0 = 0,9$  мкм, константы переходов молекул (Rhodamine 6G в воде [4])  $K_{AB}=1,1$  МГц,  $K_{BA}=0,49$  МГц, коэффициент диффузии  $D=2,8 \cdot 10^{-10}$  м<sup>2</sup>/с. Характеристические яркости  $q_A=100$  кГц,  $q_B=20$  кГц, концентрация  $C=0,25$  нМ. Размеры ОМ  $3 \times 3 \times 9$  мкм, время регистрации фотоотсчётов  $T=100$  с. Также проведено моделирование для случая с  $q_B=0$ .

Для полученных потоков фотоотсчётов были вычислены АКФ, которые были проанализированы по методу ФКС с использованием программы FFS Data Processor [15]. Аппроксимация характеристик основана на поиске минимума критерия  $\chi^2$  с помощью метода оптимизации Маркварда-Левенберга [16]. Качество аппроксимации оценивалось по нормированным остаткам [17].

Таблица 1

#### Результаты анализа полученных потоков

Параметр	$q_A \neq 0, q_B = 0$		$q_A \neq 0, q_B \neq 0$	
	Задано	Получено	Задано	Получено
$\tau_p, \text{мкс}$	0,62	$0,70 \pm 0,06$	0,62	$0,51 \pm 0,09$
$F$	0,75	$0,75 \pm 0,02$	0,43	$0,45 \pm 0,04$
$\tau_D, \text{мкс}$	80,4	$79,6 \pm 2,3$	80,4	$81,4 \pm 1,9$
$N_{eff}$	0,068	$0,068 \pm 0,001$	0,068	$0,0672 \pm 0,0004$
$z_0, \omega_0$	3	$3,25 \pm 0,22$	3	$2,82 \pm 0,13$
$\chi^2$	—	1,36	—	1,02

Результаты анализа потоков фотоотсчётов приведены в Таблице 1, из которой видно, что полученные оценки параметров близки к исходным значениям. Графики автокорреляционных функций приведены на рис. 1, из которого видно влияние второго излучательного состояния в микросекундном диапазоне временной задержки. Стремление значений критерия  $\chi^2$  к единице и равномерность и величина распределения остатков относительно нуля свидетельствует о хорошем качестве аппроксимации АКФ.

### ВЫВОДЫ.

Разработана имитационная модель потока фотоотсчётов в системах ФФС, учитывающая диффузию и переходы молекул между двумя излучательными состояниями. На основании полученных потоков фотоотсчётов построена АКФ, которая проанализирована с помощью метода ФКС.

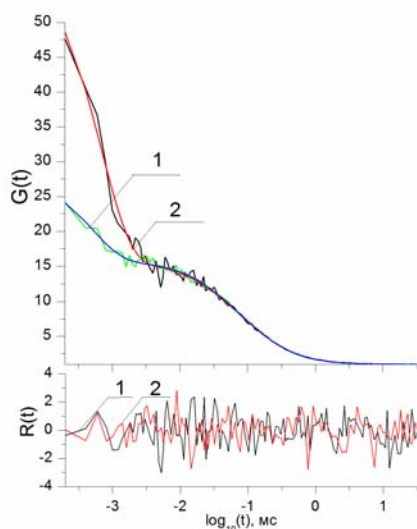


Рис. 1. Вид АКФ  $G(t)$  и нормированных остатков  $R(t)$  при обоих излучательных состояниях молекулы (1) и одном излучательном состоянии (2).

Близость полученных оценок параметров модели к их истинным значениям, значения критерия согласия, вид нормированных остатков показывают адекватность модели в рассмотренных случаях. Разработанная модель может применяться для тестирования методов анализа данных ФФС.

### Литература

1. Fogarty K., et. al./ Biophys. J., vol. 98, issue 3, suppl. 1, 2010, pp 655a-656a
2. Hendrix J., et al./ Biophys. J., vol. 94, №10, 2008, pp. 4103 – 4113
3. Elson E., Madge D./ Biopolymers, vol. 13, 1974, pp. 1-27
4. Widengren J., et. al./ J. Phys. Chem., vol. 99, 1995, pp. 13368–13379
5. Edman L., et. al./ Proc. Natl. Acad. Sci. USA, vol. 93, 1996, pp. 6710-6715
6. ConfoCor 3. Laser Scanning Detection Module. Application Manual, 2009, Carl Zeiss.
7. Schwille P., et. al./ Biophys. J., vol. 77, 1999, pp. 2251–2265
8. Rigler R., et. al./ Eur. Biophys. J., vol. 22, 1993, pp. 169–175
9. Krichevsky O., Bonnet G./ Reports on Progress in Physics, vol. 65, 2002, pp. 251-297,
10. Malvezzi-Campeggi F., et. al./ Biophys. J., vol. 81, №3, 2001, pp. 1776–1785
11. Осадько И. С./ УФН, том 176, № 1, 2006, стр. 23-57
12. Saleh B., Teich M. Fundamentals of Photonics. New York, 1991, 966 p.
13. Апанасович В. В., Коляда А. А., Чернявский А. Ф. Статистический анализ случайных потоков в физическом эксперименте. Минск, 1988, 256 с.
14. MacKeown P. K. Stochastic simulation in physics. Singapore, 1997, 456 p.
15. Skakun V., et. al./ Eur. Biophys. J., 2005, vol. 34, pp. 323–334
16. Bevington P. R., Robinson D. K. Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences. New York, 320 p.
17. O'Connor D., Philips D. Time-correlated Single Photon Counting. London, 1984, 288 p.

## КУМУЛЯНТНЫЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛА ФОТООТСЧЕТОВ С УЧЕТОМ ДИФФУЗИИ ДЛЯ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ОБРАЗЦА

Е. Ю. Шинкевич, В. В. Скакун

Во флуоресцентной флуктуационной спектроскопии информацию о биологических молекулах получают путём измерения флуктуаций интенсивности флуоресцирующих молекул, проходящих через маленький исследуемый

объем. Флуктуации флуоресценции несут информацию о транспортных свойствах, химических реакциях, агрегатном состоянии молекул, и т.д.

Метод флуоресцентного кумулянтного анализа (ФКА) является одним из методов анализа распределения интенсивности флуоресценции, изучающим вещество на молекулярном уровне без изменения термодинамического равновесия исследуемой системы. Метод основывается на приведении экспериментально полученных кумулянтов к математической модели, используя метод моментов, позволяющий приравнивать теоретические и экспериментальные кумулянты, и находить искомые параметры [1].

В методе ФКА кумулянты выражаются в виде функции от яркости и числа молекул для каждого флуоресцирующего вида

$$FK_r = \sum_i \gamma_r q_i^r c_i, \quad (1)$$

где  $q_i$  и  $c_i$  – яркость и число молекул  $i$ -ой смеси, коэффициенты  $\gamma_r$  определяются по формуле

$$\gamma_r = \int_V (B(\vec{r}))^r dr^3 / \int_V B(\vec{r}) dr^3, \quad (2),$$

где  $B(\vec{r})$  – профиль засветки. Выражение (1) может быть получено, используя производящую функцию [2] или формулу Мандела [3], устанавливающую связь между моментами интегрированной интенсивности и моментами фотоотсчетов.

Экспериментальные факториальные кумулянты любого порядка могут быть вычислены через обычные моменты фотоотсчетов [4].

Для нахождения искомых параметров двухкомпонентного образца достаточно выписать выражения для первых четырех кумулянтов, используя формулу (1), и решить полученную систему уравнений (3):

$$\begin{cases} FK_1 = (c_1 q_1 + c_2 q_2) T & FK_2 = \gamma_2 (c_1 q_1^2 + c_2 q_2^2) T^2 \\ FK_3 = \gamma_3 (c_1 q_1^3 + c_2 q_2^3) T^3 & FK_4 = \gamma_4 (c_1 q_1^4 + c_2 q_2^4) T^4 \end{cases}, \quad (3)$$

### КОРРЕКЦИЯ МЕТОДА ФКА С УЧЁТОМ ДИФФУЗИИ

Измеряемая интенсивность флуоресцентного излучения изменяется пропорционально числу флуоресцентных молекул, находящихся в облучаемой области. В зависимости от выбора ширины интервала наблюдения диффузия молекул оказывает большее или меньшее влияние на флуктуации интенсивности флуоресценции, и, соответственно, на значения определяемых параметров. Поэтому возникает необходимость во введении коррекции на диффузию молекул через облучаемую область. Перепишем систему уравнений

(3) для действительных яркости  $\tilde{q}_j$  и концентрации  $\tilde{c}_j$  молекул, используя вспомогательную функцию  $\Gamma_{ij}(T)$ , объединяющую диффузионные свойства и зависимость параметров от ширины интервала времени наблюдения  $T$  [2]:

$$\begin{cases} FK_1 = (\tilde{q}_1\tilde{c}_1 + \tilde{q}_2\tilde{c}_2)T \\ FK_2 = \gamma_2(\Gamma_{2_1}(T)\tilde{q}_1^2\tilde{c}_1 + \Gamma_{2_2}(T)\tilde{q}_2^2\tilde{c}_2)T^2 \\ FK_3 = \gamma_3(\Gamma_{3_1}(T)\tilde{q}_1^3\tilde{c}_1 + \Gamma_{3_2}(T)\tilde{q}_2^3\tilde{c}_2)T^3, \\ FK_4 = \gamma_4(\Gamma_{4_1}(T)\tilde{q}_1^4\tilde{c}_1 + \Gamma_{4_2}(T)\tilde{q}_2^4\tilde{c}_2)T^4 \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{где } \Gamma_r(T) = r! \int_{\substack{\tau_2, \tau_3, \dots, \tau_r \geq 0, \\ \tau_2 + \tau_3 + \dots + \tau_r \leq T}} G_r(\tau_2, \tau_3, \dots, \tau_r)(T - \tau_2 - \tau_3 - \dots - \tau_r) d\tau_2 d\tau_3 \dots d\tau_r, \quad (5)$$

$G_r(\tau_2, \tau_3, \dots, \tau_r)$  – корреляционная функция числа фотоотсчётов  $r$ -порядка.

#### РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КУМУЛЯНТНОГО АНАЛИЗА

В алгоритме метода ФКА выделим три основных этапа. Вначале найдем численные значения кумулянтов, используя экспериментальные данные. Затем определим значения коэффициентов и корректирующего фактора, используя выражения (2) и (5) соответственно. На заключительном этапе составим системы уравнений (3) и (4) для случаев с учетом диффузии и без него соответственно и решим их с целью нахождения оценок искомых параметров – яркости и числа молекул в облучаемой области.

Для тестирования метода ФКА для двухкомпонентной смеси в качестве исследуемого образца была использована смесь белка FreeFAB, помеченного красителем Cy2, и иммуноглобулина IgG, помеченного красителем Alex488. Экспериментальные данные были получены с помощью флуоресцентного корреляционного спектроскопа ConfoCor2. Используя символьную математику среды MATLAB, была решена система уравнений (3) и найдены яркость и количество молекул без учета диффузии. Для того, чтобы учесть диффузию, необходимо определить численные значения корректирующих факторов (5). Для нахождения многомерных интегралов в формуле (5) был использован метод Монте-Карло. Аналитическое решение системы уравнений (4) найти не удалось, поэтому для определения численных значений входящих в неё параметров был использован метод наименьших квадратов.

В результате тестирования разработанного алгоритма были получены графики зависимости яркости и количества молекул для обоих веществ от ширины интервала наблюдения  $T$  (рис. 1 – 4).

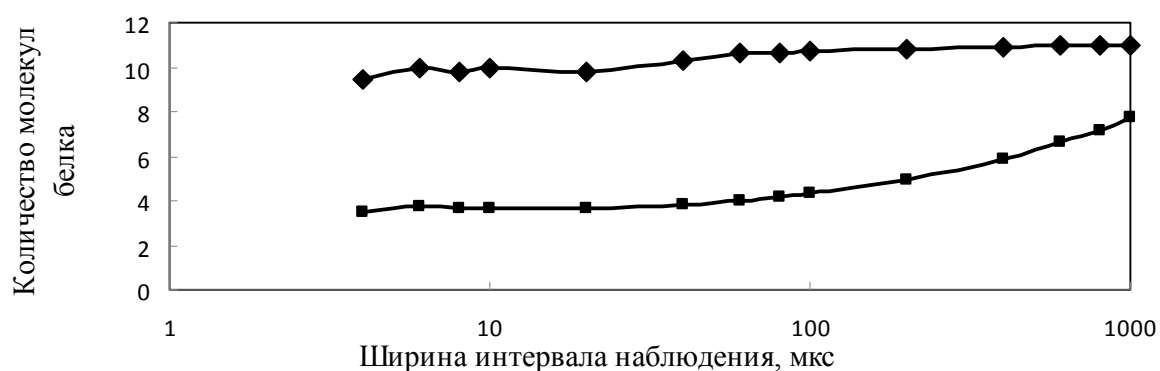


Рис. 1. График зависимости яркости молекул красителя Cy5 от ширины интервала наблюдения без коррекции ■ и с коррекцией ◆



Рис. 2. График зависимости количества молекул белка в исследуемом объеме от ширины интервала наблюдения без коррекции ■ и с коррекцией ◆



Рис. 3. График зависимости яркости молекул красителя Alex488 от ширины интервала наблюдения без коррекции ■ и с коррекцией ◆



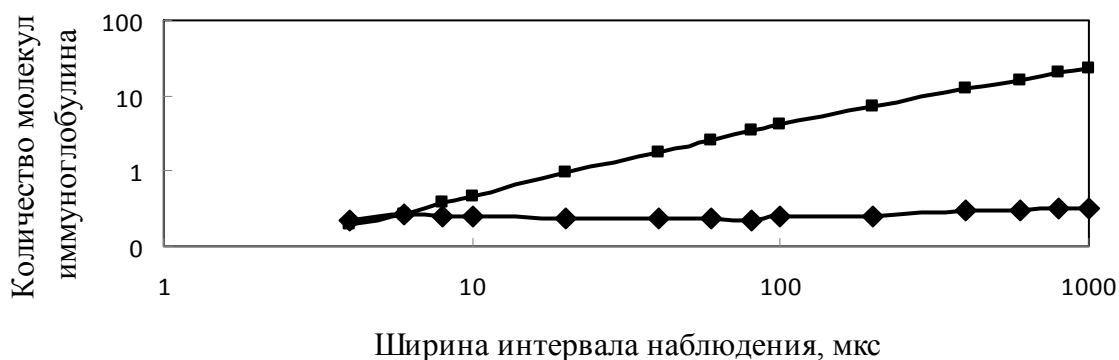


Рис. 4. График зависимости количества молекул иммуноглобулина в исследуемом объеме от ширины интервала наблюдения без коррекции ■ и с коррекцией ◆

Ожидается, что при ведении коррекции искомые параметры не должны зависеть от ширины интервала наблюдения (кривая на графике должна быть параллельна оси абсцисс). Из вида графиков следует, что диффузия молекул через исследуемый объем имеет существенное влияние на вычисляемые значения и введение коррекции устраняет зависимость искомых параметров от ширины интервала наблюдения.

Разработанный алгоритм ФКА был протестирован на смоделированных и измеренных данных. Проведенные тесты подтвердили его достоверность и работоспособность.

#### Литература

1. *Chen, Y., J.D. Muller, P.T.C. So, and E. Gratton.* The Photon Counting Histogram in Fluorescence Fluctuation Spectroscopy. *Biophysical Journal*. 1999.
2. *Muller, J.* Cumulant Analysis in Fluorescence Fluctuation Spectroscopy. *Biophysical Journal*. 2004.
3. *Skakun, V., E. Novikov, V. Apanasovich, H. Tanke, A. Deelder.* Initial guesses generation for fluorescence intensity distribution analysis. *Biophysical Journal*. 2006.
4. *Кендалл, М. Дж. и А. Стьюарт.* Теория распределений. 1977.

### АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ ШИФРАТОР ДАННЫХ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЙ USB-ИНТЕРФЕЙС

**С.Г. Янковский, А.Л. Труханович**

Хранение данных и ограничение доступа к конфиденциальной информации на сегодняшний день одна из важнейших задач пользователя ПК. Для защиты информации от несанкционированного доступа наиболее эффективно использовать криптографическое преобразование данных. Можно применять алгоритмы шифрования, хранящиеся на ПК, но в этом случае возникает проблема хранения ключей и следов криптопреобразования.

Поэтому, для большей надежности, используют внешние шифраторы, которые подключаются к компьютеру, используя стандартный интерфейс связи. Использование микропроцессорных систем позволит более надежно и широко защищать информацию в различных устройствах и при различных способах использования конфиденциальной информации.

На кафедре кибернетики факультета радиофизики и электроники БГУ разработано устройство на основе микроконтроллера M16C/6C, которое по USB интерфейсу подключается к ПК и производит криптографическое преобразование поступающей на него информации.

Микроконтроллеры серии M16C/6C включают в себя ядро процессора серии M16C/60 и флэш-память, используют усложненные инструкции для высокой эффективности. Микроконтроллер способен выполнять команды на высокой скорости, имеет низкое энергопотребление и поддерживает режим работы с дополнительным контролем использования энергии. Интеграция различных периферийных устройств, включая последовательный интерфейс, USB интерфейс, уменьшает количество необходимых системных компонентов [2]. Разработанное устройство имеет следующие основные характеристики:

- частота 32 MHz;
- объем ROM 512 Kbytes;
- объем RAM 31 Kbytes;
- тип памяти: Flash memory.

Для реализации устройства использовался отладочный набор Renesas Starter Kit for M16C6C [3]. В память программ микроконтроллера загружается программа, которая обеспечивает работу устройства, а именно: обеспечивает инициализацию контроллера и его работу, реализует алгоритм шифрования ГОСТ 28147-89, и USB интерфейс связи микроконтроллера с ПК.

В ГОСТ 28147-89 ключевая информация состоит из двух структур данных. Помимо собственно ключа, необходимого для всех шифров, она содержит еще и таблицу замен. Ниже приведены основные характеристики ключевых структур ГОСТа.

Ключ является массивом из восьми 32-битных элементов кода, далее в настоящей работе он обозначается символом  $K$ :  $K = \{K_i\}_{0 \leq i \leq 7}$ . В ГОСТе элементы ключа используются как 32-разрядные целые числа без знака:  $0 \leq K_i < 2^{32}$ . Таким образом, размер ключа составляет  $32 \cdot 8 = 256$  бит или 32 байта.

Таблица замен является матрицей  $8 \times 16$ , содержащей 4-битовые элементы, которые можно представить в виде целых чисел от 0 до 15. Стро-

ки таблицы замен называются узлами замен, они должны содержать различные значения, то есть каждый узел замен должен содержать 16 различных чисел от 0 до 15 в произвольном порядке. Таблица замен обозначается символом  $H$ :  $H = \{H_{i,j}\}_{0 \leq i \leq 7, 0 \leq j \leq 15}, 0 \leq H_{i,j} \leq 15$ . Таким образом, общий объем таблицы замен равен: 8 узлов  $\times$  16 элементов/узел  $\times$  4 бита/элемент = 512 бит или 64 байта. [1]

Для реализации шифрования была разработана функция `EncryptData()`, на вход которой передается указатель на буфер, состоящий из 8-битных чисел типа `UINT8`, а также число байт, которые необходимо зашифровать. Далее байты «упаковываются» в 32-х битные числа типа `unsigned long`, которые подаются на вход функции 32-х циклов основного шага ГОСТ 28147-89. Таким образом, происходит шифрование всего переданного буфера с последующей записью полученного результата в USB канал, для чего используется разработанная функция `USBCDC_Write_Async()`.

Программное обеспечение для верхнего уровня написано на языке программирования `java`, в среде программирования `eclipse`, с использованием библиотеки для работы со стандартными интерфейсами. Устройство распознается как `USB Communication Device Class`, это позволяет использовать его как виртуальный COM-порт, что упрощает работу с USB интерфейсом со стороны ПК. Для доступа к COM-порту компьютера был использован пакет `javax.comm`. Данный пакет не входит в стандартный набор `JDK`. Программа реализована в консольном режиме и позволяет передавать данные на устройство, принимать данные с шифратора, переводить шифратор в режим шифрования или прозрачный режим.

В результате получилось устройство, позволяющее шифровать информацию, не используя ресурсы компьютера и не храня ключевую информацию на ПК. Устройство способно подключаться по USB интерфейсу и способно зашифровывать информацию, хранящуюся на компьютере, хранить информацию в зашифрованном виде во внутренней флэш-памяти, позволяет осуществить потоковое шифрование информации, передающуюся в канал связи использующий USB интерфейс. При тактовой частоте контроллера полная скорость шифрования информации с передачей данных по USB каналу составила 1.2 Кбайт/с. Для повышения скорости шифрования можно использовать 32-х разрядные контроллеры с большей тактовой частотой, что должно поднять скорость шифрования в десятки раз. Например, если произвести теоретические расчеты, то при использовании 32-х разрядного процессора с тактовой частотой 144 МГц, скорость шифрования превысит 100 Кбайт/с, а при использовании аппаратной реализации шифрования, подключив к микроконтроллеру программируемую логику, можно повысить скорость шифрования до 80 Мбит/с.

Широкий набор периферийных интерфейсов в микроконтроллере таких как USB, Ethernet, serial, I2C и др. позволяет адаптировать устройство под разные задачи, такие как: устройство шифрования данных на ПК, мост связи с криптопреобразованием для подключения устройства, также можно использовать как защищенное устройство для хранения данных подключаемое по нужному каналу связи.

Исходя из вышеизложенного получается что устройство можно использовать для:

- передачи зашифрованной информации по сетям общего пользования;
- шифрования информации с использованием практически любого алгоритма;
- для взаимодействия с комплектом можно использовать различные интерфейсы, что расширяет область применения данного RSK в том числе и в учебных целях.

### **Литература**

1. *Винокуров А.* Алгоритм шифрования ГОСТ 28147-89, его использование и реализация для компьютеров платформы Intel x86. Интернет-адрес: [www.twirpx.com/file/218840](http://www.twirpx.com/file/218840).
2. M16C/6C Group Hardware Manual , Feb 18, 2008.
3. Renesas Starter Kit for M16C6C User's Manual Rev.1.00 13.JAN.2009

## Р-АДИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ФАКТОРИЗАЦИИ

И. А. Блинец

В данной работе построен алгоритм факторизации многочленов с целыми коэффициентами, если нам известны его корни в поле  $p$ -адических чисел  $\mathbb{Q}_p$ .

Пусть у нас есть многочлен с целыми коэффициентами, мы хотим найти его разложение в произведение неприводимых многочленов с целыми коэффициентами. Предположим, что мы знаем корни многочлена в  $\mathbb{Q}_p$ . Мы можем считать, что у  $f(x)$  нет кратных корней, иначе находим НОД многочленов  $f(x)$ ,  $f'(x)$  и потом просто поделим  $f$  на этот НОД, получив многочлен без кратных корней.

**Лемма 1** (лемма Гензеля, [3, с.80]) Пусть  $f$  – многочлен с целыми коэффициентами  $a_i$ :

$$f(x) = \sum_{i=0}^n a_i x^i$$

и существует  $a \in \mathbb{Z}_p$ , такое что  $|f(a)|_p < 1$  и  $|f'(a)|_p = 1$ . Тогда существует  $b$  такое, что  $|b - a|_p \leq |f(a)|_p$  и  $f(b) = 0$ .

То есть, если  $\deg f = n$  и мы нашли у  $f(x)$   $n$  различных корней в поле  $F_p$  и значение производной не равно 0 в  $F_p$  для этих корней, то мы можем легко найти с любой точностью наши корни в  $\mathbb{Q}_p$  (следующая цифра линейно выражается через предыдущие).

Здесь мы не обсуждаем, как получить корни в  $\mathbb{Q}_p$ , будет ли их  $n$  штук, а считаем, что корни у нас уже и так есть, в частности, в их поисках значительно помогает лемма Гензеля (см [2, 97], [4, 47], [3, 80]). Для многочлена  $f(x) = a_0 + a_1x + \dots + x^n$ , как известно, абсолютное значение его корней не превосходит  $M = 1 + \max |a_i|$ , ([3, с 10]). Отсюда видим, что если многочлен с целыми коэффициентами  $g(x) = b_0 + b_1x + \dots + x^k$  – делитель многочлена  $f(x)$ , то  $b_{k-1} \leq kM$ , более того,  $b_{k-i} \leq C_k^i M^i$ . Пусть  $s$  – это такое минимальное натуральное число, что для любого  $0 < i < n$  верно  $p^s > C_{n-1}^i M^i$ .

Для более точной оценки коэффициентов можно пользоваться следующим результатом (это позволяет уменьшить значение  $s$ ):

**Теорема 1** (неравенство Миньотта, [1, с.171]). Пусть  $f(x) = a_0 + a_1x + \dots + a_mx^m$  и  $g(x) = b_0 + b_1x + \dots + b_kx^k$  — многочлены с целыми коэффициентами. Тогда если  $f$  делится нацело на  $g$ , то

$$|b_j| \leq C_{k-1}^j \|f\| + C_{k-1}^{j-1} \|a_m\|,$$

где  $\|f\| = \sqrt{a_0^2 + a_1^2 + \dots + a_m^2}$ .

Таким образом, зная коэффициенты многочлена, мы можем определить, в каком промежутке лежат коэффициенты многочленов, которые делят его.

Пусть  $x_1, x_2, \dots, x_n$  — корни  $f(x)$  в  $Q_p$ . Найдем  $x_1, x_2, \dots, x_n$  с точностью до  $2s$   $p$ -адических знаков. Пусть  $g(x) = \prod_{i=1}^k (x - y_i)$ , где  $y_i$  — это некоторые различные  $x_j$ ,  $k < n$ . Значит  $b_{k-1} = -\sum_{i=1}^k y_i$ . То есть, если найти  $-\sum_{i=1}^k y_i$  с точностью до  $2s$  знаков в  $p$ -адическом разложении, то мы получим, что цифры стоящие при  $p^s, p^{s+1}, \dots, p^{2s-1}$  должны равняться 0 или  $p-1$ , поскольку иначе не будут выполняться следующие оценки:  $b_{k-1} \leq kM$  и  $kM < p^s$ .

**Теорема 2.** Следующий алгоритм позволяет разложить  $f(x)$  на множители либо установить неприводимость  $f(x)$ .

1) Находим корни  $x_1, x_2, \dots, x_n$  многочлена  $f$  в  $Q_p$ , с точностью до  $2s$   $p$ -адических знаков, где  $s$  описано выше.

2) Рассматриваем суммы  $x_{i_1} + x_{i_2} + \dots + x_{i_k}, 1 \leq k < n$  из множества  $x_1, x_2, \dots, x_n$  с точностью до  $2s$   $p$ -адических знаков.

3) Выбираем те суммы  $x_{i_1} + x_{i_2} + \dots + x_{i_k}$ , в которых цифры при  $p^s, p^{s+1}, \dots, p^{2s-1}$  — это 0 или  $p-1$ .

4) Берем одну из таких сумм и вычисляем  $g(x) = \prod_{j=1}^k (x - x_{i_j})$ .

5) Пусть  $g(x) = \sum_{i=0}^k c_k x^k$ . Если для любого коэффициента  $c_k$ , цифры стоящие при  $p^s, p^{s+1}, \dots, p^{2s-1}$  — это все нули или все  $p-1$ , то находим многочлен  $h(x)$ , иначе переходим к шагу 7.  $h(x)$  строим из  $g(x)$  следующим образом:

$$h(x) = \sum_{i=0}^k d_k x^k$$

Если цифры у  $c_k$  при  $p^s, p^{s+1}, \dots, p^{2s-1}$  это нули, то  $d_k = c_k$ , иначе  $d_k = -(-c_k \bmod p^s)$

6) Проверяем делится ли  $f(x)$  на  $h(x)$ , если да то находим частное. Таким образом мы получили требуемое, алгоритм завершен.

7) Если  $g(x)$  не обладает свойством описанным в пункте 5, либо  $f(x)$  не кратно  $h(x)$ , рассматриваем следующую сумму. Если таких сумм нет, то наш многочлен неприводим, алгоритм завершен.

**Пример 1.** Рассмотрим многочлен  $f(x) = x^4 - 4x^3 + 7x^2 - 6x - 4$ .

Если факторизация возможна, то только на два многочлена второй степени, ведь у  $f$  нет целых корней. Из неравенства Миньотта получаем, что коэффициенты делителя меньше  $7^2$ .

Находим его корни в  $Q_7$  с точностью не меньшей 4 знаков:  $x_1 = ..10616, x_2 = ..16274, x_3 = ..50455, x_4 = ..56053$ . Поскольку многочлен  $f$  не имеет целых корней и сам он 4-й степени, то мы находим только попарные суммы  $x_i + x_j$ :

$$x_1 + x_2 = ...30133,$$

$$x_1 + x_3 = ...61404,$$

$$x_1 + x_4 = ...00002,$$

$$x_2 + x_3 = ...00002,$$

$$x_2 + x_4 = ...05300,$$

$$x_3 + x_4 = ...36541.$$

Получаем суммы с достаточным количеством лидирующих нулей (или  $p-1$ ) в двух случаях:  $x_1 + x_4$  и  $x_2 + x_3$ . Находим многочлены  $g_1(x) = x - x_1 \quad x - x_4$  и  $g_2(x) = x - x_2 \quad x - x_3$ .

$$(x - x_1)(x - x_4) = x^2 - 2x + 4,$$

$$(x - x_2)(x - x_3) = x^2 - 2x + ..66666.$$

То, что мы получаем в  $x_2x_3 = ...66666$  большое количество цифр  $p-1$  (в нашем случае 6), говорит о том, что с большой вероятностью число отрицательное и равно -1, ведь в  $Q_7 \quad ...00001 + ...66666 = ...00000$

Сейчас построим многочлены  $h_1(x)$  и  $h_2(x)$ :

$$h_1(x) = x^2 - 2x + 4,$$

$$h_2(x) = x^2 - 2x - 1.$$

Проверяем, что

$$f(x) = (x^2 - 2x + 4)(x^2 - 2x - 1).$$

Таким образом, мы получили разложение  $f(x)$  на 2 неприводимых множителя. Конец алгоритма.

Таким образом, мы здесь описали алгоритм разложения многочлена на множители над  $\mathbb{Z}$  при условии, что мы знаем его корни в каком-то  $\mathbb{Q}_p$ .

### Литература

1. Прасолов В.В. Многочлены. Москва: МНЦМО 2003.
2. Коблиц Н. р-адические числа, р-адический анализ и дзета функции. М., 1982.
3. Schikhof W.H. Ultrametric calculus. An introduction to p-adic analysis. Cambridge University Press, 1984.
4. Радына А.Я., Радына Я.В. Элементарны ўводзіны ў р-адычны аналіз. Мн., 2006.

## КОНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ ПРИБЛИЖЕНИЙ ПОЛЯ ЦЕНТРАЛЬНЫХ СИЛ И ВАЛЕНТНО-СИЛОВОГО ПОЛЯ

Е. А. Расюкевич

Для реализации механических моделей наноструктур с использованием конечных элементов в виде упругого отрезка и упругого угла, которые имитируют валентное и невалентное взаимодействие атомов [1], необходимо показать их соответствие моделям структурной химии и молекулярной спектроскопии. Это можно сделать, сравнив их матрицы жесткости и матрицы потенциальной энергии.

Сначала рассмотрим приближение поля центральных сил, понятие о котором возникает, если предположить, что вдоль отрезков, соединяющих атомы, направлены как силы, действующие между валентно связанными атомами так и остальными [2]. В качестве обобщенных координат используются изменения длин валентных и невалентных связей.

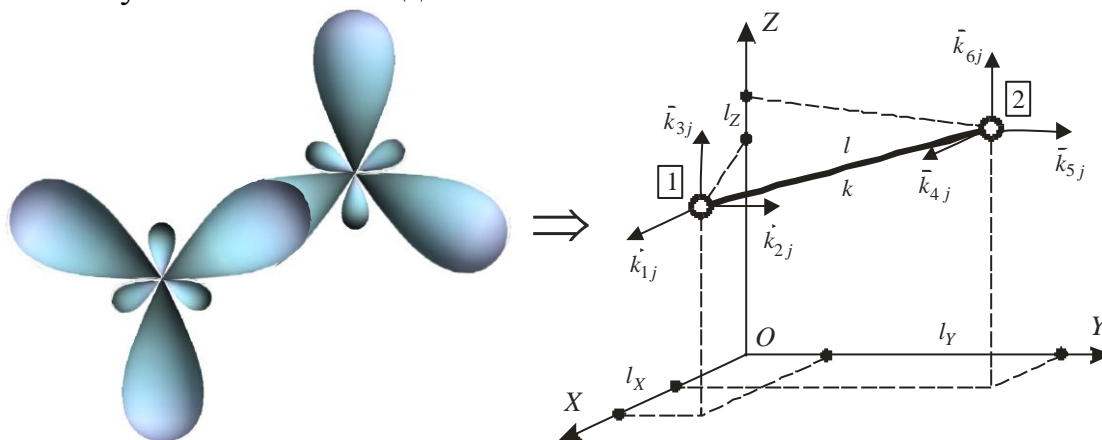


Рис. 1. Два атома и соответствующий упругий отрезок



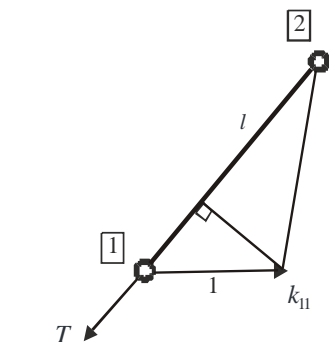


Рис. 2. Физический смысл  $k_{11}$

Два атома с пересекающимися орбиталями представим в виде упругого отрезка (рис. 1) с длиной  $l$ , равной расстоянию между атомами в положении равновесия. Через  $k$  обозначена жесткость элемента (силовая постоянная связи).  $\{\vec{k}_{ij}\}$ ,  $j = \overline{1,6}$  – столбцы матрицы жесткости, уравновешенные системы сил, возникающие при единичных смещениях узлов  $j$ . Элементы матрицы жесткости должны удовлетворять условиям равновесия сил [3]:

$$\begin{aligned} OX : & \begin{cases} k_{1j} + k_{4j} = 0 \\ k_{2j} + k_{5j} = 0, \\ k_{3j} + k_{6j} = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} k_{2j}l_Z - k_{3j}l_Y = 0 \\ k_{1j}l_Z - k_{3j}l_X = 0, \\ k_{1j}l_Y - k_{2j}l_X = 0 \end{cases} \quad j = \overline{1,6}; \\ OY : & \\ OZ : & \end{aligned} \quad (1)$$

условиям симметричности матрицы жесткости:

$$k_{ij} = k_{ji}, \quad i = \overline{1,5}, \quad j = \overline{i+1,6}. \quad (2)$$

Согласно рис.2 постоянную  $k$  можно связать с элементом  $k_{11}$  матрицы жесткости:

$$k_{11} = \Delta T = T \cos \alpha = k \cos^2 \alpha. \quad (3)$$

Решая систему (1) – (3), получим матрицу жесткости рассматриваемого элемента

$$k = \frac{k}{l^2} \begin{bmatrix} l_X^2 & l_X l_Y & l_X l_Z & -l_X^2 & -l_X l_Y & -l_X l_Z \\ l_X l_Y & l_Y^2 & l_Y l_Z & -l_X l_Y & -l_Y^2 & -l_Y l_Z \\ l_X l_Z & l_Y l_Z & l_Z^2 & -l_X l_Z & -l_Y l_Z & -l_Z^2 \\ -l_X^2 & -l_X l_Y & -l_X l_Z & l_X^2 & l_X l_Y & l_X l_Z \\ -l_X l_Y & -l_Y^2 & -l_Y l_Z & l_X l_Y & l_Y^2 & l_Y l_Z \\ -l_X l_Z & -l_Y l_Z & -l_Z^2 & l_X l_Z & l_Y l_Z & l_Z^2 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Построим матрицу потенциальной энергии  $U = U(|\vec{R}_{12}|)$ , где  $|\vec{R}_{12}| = \sqrt{l_X + x_2 - x_1^2 + l_Y + y_2 - y_1^2 + l_Z + z_2 - z_1^2}$ . Здесь  $x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2$  – локальные координаты атомов, отсчитываемые от положения равновесия. Вычислим, например, по определению элемент

$$u_{11} = \frac{\partial^2 U}{\partial x_1^2} = U'' \left| \vec{R}_{12} \right| \frac{l_X^2}{l^2}. \quad (5)$$

Он совпадает с  $k_{11}$ , если  $k = U''(|\vec{R}_{12}|)$ . Аналогично показывается совпадение остальных элементов из обеих матриц.

Модель валентно-силового поля основывается на гипотезе [2], что вдоль отрезка, соединяющего атомы, направлены только силы, действующие между валентно связанными атомами, а остальные силы ортогональны к связям. В качестве обобщенных координат используются изменения длин валентных связей и деформации различных углов между валентностями, образованных тройками атомов.

Для системы, изображенной на рис.3, выпишем условия равновесия ( $j = \overline{1,9}$ ) [3]:

$$\begin{aligned} OX: & \begin{cases} k_{1j} + k_{4j} + k_{7j} = 0 \\ k_{2j} + k_{5j} + k_{8j} = 0, \\ k_{3j} + k_{6j} + k_{9j} = 0 \end{cases} & \begin{cases} k_{6j}l_{Y1} - k_{5j}l_{Z1} + k_{9j}l_{Y2} - k_{8j}l_{Z2} = 0 \\ k_{4j}l_{Z1} - k_{6j}l_{X1} + k_{7j}l_{Z2} - k_{9j}l_{X2} = 0, \\ k_{5j}l_{X1} - k_{4j}l_{Y1} + k_{8j}l_{X2} - k_{7j}l_{Y2} = 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

а так же условия ортогональности к сторонам угла равнодействующих сил, приложенных к узлам 2 и 3:

$$k_{4j}l_{X1} + k_{5j}l_{Y1} + k_{6j}l_{Z1} = 0, \quad k_{7j}l_{X2} + k_{8j}l_{Y2} + k_{9j}l_{Z2} = 0, \quad j = \overline{1,9}; \quad (7)$$

В соответствии с рис.4 запишем связь между  $k_{66}$  и жесткостью угла  $k_\alpha$ :

$$\vec{r}_{12} \times \vec{k}_{46} + \vec{k}_{56} + \vec{k}_{66} = k_\alpha \Delta \vec{\alpha}. \quad (8)$$

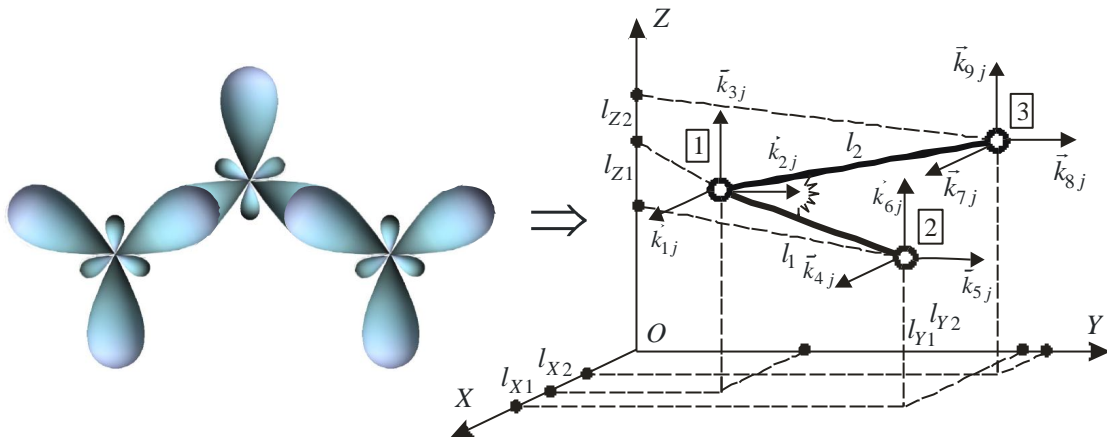


Рис. 3. Три атома и соответствующий упругий угол

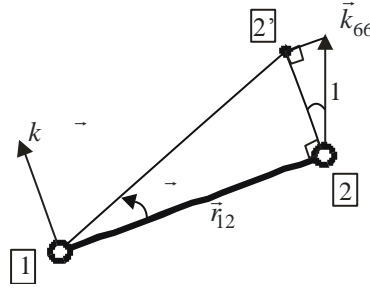


Рис. 4. Физический смысл  $k_{66}$

Решая систему (6) – (8) с учетом того, что  $k_{ij} = k_{ji}$ ,  $i = \overline{1,8}$ ,  $j = \overline{i+1,9}$  получим матрицу жесткости углового элемента

$$k_{\alpha} = \frac{k_{\alpha}}{A} \begin{pmatrix} \frac{A_1^2}{l_1^4 l_2^4} & \frac{A_1 A_2}{l_1^4 l_2^4} & \frac{A_1 A_3}{l_1^4 l_2^4} & -\frac{A_1 A_4}{l_1^4 l_2^2} & -\frac{A_1 A_5}{l_1^4 l_2^2} & -\frac{A_1 A_6}{l_1^4 l_2^2} & \frac{A_1 A_7}{l_1^2 l_2^4} & \frac{A_1 A_8}{l_1^2 l_2^4} & \frac{A_1 A_9}{l_1^2 l_2^4} \\ \frac{A_1 A_2}{l_1^4 l_2^4} & \frac{A_2^2}{l_1^4 l_2^4} & \frac{A_2 A_3}{l_1^4 l_2^4} & -\frac{A_2 A_4}{l_1^4 l_2^2} & -\frac{A_2 A_5}{l_1^4 l_2^2} & -\frac{A_2 A_6}{l_1^4 l_2^2} & \frac{A_2 A_7}{l_1^2 l_2^4} & \frac{A_2 A_8}{l_1^2 l_2^4} & \frac{A_2 A_9}{l_1^2 l_2^4} \\ \frac{A_1 A_3}{l_1^4 l_2^4} & \frac{A_2 A_3}{l_1^4 l_2^4} & \frac{A_3^2}{l_1^4 l_2^4} & -\frac{A_3 A_4}{l_1^4 l_2^2} & -\frac{A_3 A_5}{l_1^4 l_2^2} & -\frac{A_3 A_6}{l_1^4 l_2^2} & \frac{A_3 A_7}{l_1^2 l_2^4} & \frac{A_3 A_8}{l_1^2 l_2^4} & \frac{A_3 A_9}{l_1^2 l_2^4} \\ -\frac{A_1 A_4}{l_1^4 l_2^2} & -\frac{A_2 A_4}{l_1^4 l_2^2} & -\frac{A_3 A_4}{l_1^4 l_2^2} & \frac{A_4^2}{l_1^4} & \frac{A_4 A_5}{l_1^4} & \frac{A_4 A_6}{l_1^4} & -\frac{A_4 A_7}{l_1^2 l_2^2} & -\frac{A_4 A_8}{l_1^2 l_2^2} & -\frac{A_4 A_9}{l_1^2 l_2^2} \\ -\frac{A_1 A_5}{l_1^4 l_2^2} & -\frac{A_2 A_5}{l_1^4 l_2^2} & -\frac{A_3 A_5}{l_1^4 l_2^2} & \frac{A_4 A_5}{l_1^4} & \frac{A_5^2}{l_1^4} & \frac{A_5 A_6}{l_1^4} & -\frac{A_5 A_7}{l_1^2 l_2^2} & -\frac{A_5 A_8}{l_1^2 l_2^2} & -\frac{A_5 A_9}{l_1^2 l_2^2} \\ -\frac{A_1 A_6}{l_1^4 l_2^2} & -\frac{A_2 A_6}{l_1^4 l_2^2} & -\frac{A_3 A_6}{l_1^4 l_2^2} & \frac{A_4 A_6}{l_1^4} & \frac{A_5 A_6}{l_1^4} & \frac{A_6^2}{l_1^4} & -\frac{A_6 A_7}{l_1^2 l_2^2} & -\frac{A_6 A_8}{l_1^2 l_2^2} & -\frac{A_6 A_9}{l_1^2 l_2^2} \\ \frac{A_1 A_7}{l_1^2 l_2^4} & \frac{A_2 A_7}{l_1^2 l_2^4} & \frac{A_3 A_7}{l_1^2 l_2^4} & -\frac{A_4 A_7}{l_1^2 l_2^2} & -\frac{A_5 A_7}{l_1^2 l_2^2} & -\frac{A_6 A_7}{l_1^2 l_2^2} & \frac{A_7^2}{l_2^4} & \frac{A_7 A_8}{l_2^4} & \frac{A_7 A_9}{l_2^4} \\ \frac{A_1 A_8}{l_1^2 l_2^4} & \frac{A_2 A_8}{l_1^2 l_2^4} & \frac{A_3 A_8}{l_1^2 l_2^4} & -\frac{A_4 A_8}{l_1^2 l_2^2} & -\frac{A_5 A_8}{l_1^2 l_2^2} & -\frac{A_6 A_8}{l_1^2 l_2^2} & \frac{A_7 A_8}{l_2^4} & \frac{A_8^2}{l_2^4} & \frac{A_8 A_9}{l_2^4} \\ \frac{A_1 A_9}{l_1^2 l_2^4} & \frac{A_2 A_9}{l_1^2 l_2^4} & \frac{A_3 A_9}{l_1^2 l_2^4} & -\frac{A_4 A_9}{l_1^2 l_2^2} & -\frac{A_5 A_9}{l_1^2 l_2^2} & -\frac{A_6 A_9}{l_1^2 l_2^2} & \frac{A_7 A_9}{l_2^4} & \frac{A_8 A_9}{l_2^4} & \frac{A_9^2}{l_2^4} \end{pmatrix},$$

где  $A = l_1^2 l_2^2 - V^2$ ,  $V = l_{X1} l_{X2} + l_{Y1} l_{Y2} + l_{Z1} l_{Z2}$ ,  $A_1 = V l_2^2 l_{X1} + l_1^2 l_{X2} - l_1^2 l_2^2 \times$   
 $\times l_{X1} + l_{X2}$ ,  $A_2 = V l_2^2 l_{Y1} + l_1^2 l_{Y2} - l_1^2 l_2^2 l_{Y1} + l_{Y2}$ ,  $A_3 = V l_2^2 l_{Z1} + l_1^2 l_{YZ} -$   
 $- l_1^2 l_2^2 l_{Z1} + l_{Z2}$ ,  $A_4 = l_{X1} l_{Y1} l_{Y2} + l_{Z1} l_{Z2} - l_{X2} l_{Y1}^2 + l_{Z1}^2$ ,  $A_5 = l_{Y1} l_{X1} l_{X2} +$   
 $+ l_{Z1} l_{Z2} - l_{Y2} l_{X1}^2 + l_{Z1}^2$ ,  $A_6 = l_{Z1} l_{X1} l_{X2} + l_{Y1} l_{Y2} - l_{Z2} l_{Y1}^2 + l_{Y1}^2$ ,  $A_7 = l_{X1} \times$

$$\times l_{Y2}^2 + l_{Z2}^2 - l_{X2} l_{Y1} l_{Y2} + l_{Z1} l_{Z2} \text{ , } A_8 = l_{Y1} l_{X2}^2 + l_{Z2}^2 - l_{Y2} l_{X1} l_{X2} + l_{Z1} l_{Z2} \text{ ,}$$

$$A_9 = l_{Z1} l_{X2}^2 + l_{Y2}^2 - l_{Z2} l_{X1} l_{X2} + l_{Y1} l_{Y2} \text{ .}$$

Сравнивая элементы полученной матрицы жесткости с соответствующими вторыми производными от потенциальной энергии системы  $U = U(\alpha)$ , где

$$\alpha = \arccos \left( \frac{\left( \begin{array}{c} l_{X1} + x_2 - x_1 \quad l_{X2} + x_3 - x_1 \quad + \quad l_{Y1} + y_2 - y_1 \quad l_{Y2} + y_3 - y_1 \quad + \\ + \quad l_{Z1} + z_2 - z_1 \quad l_{Z2} + z_3 - z_1 \end{array} \right)}{\left( \sqrt{l_{X1} + x_2 - x_1}^2 + l_{Y1} + y_2 - y_1^2 + l_{Z1} + z_2 - z_1^2 \right) \times \left( \sqrt{l_{X2} + x_3 - x_1}^2 + l_{Y2} + y_3 - y_1^2 + l_{Z2} + z_3 - z_1^2 \right)} \right) \text{ ,}$$

констатируем совпадение обеих матриц, если положить  $k_\alpha = U'' \alpha$  .

Например:

$$u_{66} = \frac{\partial^2 U}{\partial z_2^2} = U'' \alpha \frac{l_{Z1} l_{X1} l_{X2} + l_{Y1} l_{Y2} - l_{Z2} l_{X1}^2 + l_{Y1}^2}{l_1^4 l_1^2 l_2^2 - l_{X1} l_{X2} + l_{Y1} l_{Y2} + l_{Z1} l_{Z2}^2} \text{ .} \quad (9)$$

### Литература

1. Волькенштейн М. В. Колебания молекул / М.В. Волькенштейн, М.А. Ельяшевич, Б.И. Степанов. М., 1972.
2. Коптев Г. С. Расчет колебаний молекул / Г.С. Коптев, Ю.А. Пентин. М., 1977.
3. Репченков В. И. Физические основы метода конечных элементов: Учеб. пособие для студентов механико-математического факультета / В.И. Репченков, Ю.Е. Нагорный. Минск, 2009.

## УСЛОВИЯ ЦЕНТРА КУБИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ОДИННАДЦАТЬЮ ПАРАМЕРАМИ В СЛУЧАЕ СИММЕТРИИ

**Т. В. Щеглова**

Рассмотрим систему дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} x' = y \quad 1 + Dx + Px^2 + Hx^2 + Qx^3 \\ y' = -x + Ax^2 + 3Bxy + Cy^2 + Kx^3 + 3Lx^2y + Mxy^2 + Ny^3 \end{cases} \quad (1)$$

где  $A, B, C, D, H, K, L, M, N, P, Q \in \mathbb{R}$  . Точка  $O(0,0)$  является особой точкой системы (1). Характеристическое уравнение системы в начале координат

имеет два чисто мнимых корня, поэтому особая точка  $O(0,0)$  может быть как центром, так и фокусом [1]. Для системы (1) в начале координат возникает проблема центра и фокуса.

Для (1) существует формальный ряд  $U = x^2 + y^2 + \sum_{i+j=3}^{\infty} q_{i,j} x^i y^j$ , для

которого имеет место в силу системы  $\dot{U} = \sum_{i=1}^{\infty} g_i (x^2 + y^2)^{i+1}$ , где  $g_i, i=1, 2, \dots$

фокусные величины системы (1). Начало координат является центром тогда и только тогда, когда  $g_i = 0, i = \overline{1, \infty}$ .

Введем вектор  $p = (A, B, C, D, H, K, L, M, N, P, Q) \in \mathbb{R}$ . Тогда фокусные величины  $g_i, i = \overline{1, \infty}$  являются полиномами кольца  $\mathbb{R}[p]$ . Образует идеал  $J = \langle g_1, g_2, \dots \rangle \in \mathbb{R}[p]$  [2].

Многообразие  $V(J) = \{p \in \mathbb{R}^{11} : \forall g \in J \ g(p) = 0\}$  будем называть *многообразием центра* системы (1). Особая точка  $O(0,0)$  является центром тогда и только тогда, когда  $p \in V(J)$  [3].

Исследуем проблему центра и фокуса для системы (1) в начале координат. Введем две последовательные замены

$$y = \frac{Y - Hx^2 - Qx^3}{1 + Dx + Px^2} \text{ и } Y = \frac{z\alpha(x)}{1 + Dx + Px^2 + z\beta(x)},$$

где  $\alpha(x) = Nx^5(H + Qx)^3 - x^3(C + Mx)(H + Qx)^2(1 + Dx + Px^2) + 3x^2 \times$   
 $\times (B + Lx)(H + Qx)(1 + Dx + Px^2)^2 + (1 - Ax - Kx^2)(1 + Dx + Px^2)^3,$   
 $\beta(x) = Nx^3(H + Qx)^2 - x(2C + D + 2(M + P)x)(H + Qx)(1 + Dx + Px^2) / 3 +$   
 $+ ((3B + 2H) / 3 + (L + Q)x)(1 + Dx + Px^2)^2.$

Тогда система (1) приводится к системе типа Лъенара

$$\begin{cases} x' = zP_0(x) \\ y' = -x + P_2(x)z^2 + P_3(x)z^3 \end{cases} \quad (2)$$

где многочлены  $P_0(x), P_2(x), P_3(x)$  находятся из следующих уравнений

$$\begin{aligned} P_0(x) &= \alpha, (1 + Dx + Px^2)^2 P_2(x) = 3x\beta^2 + \alpha\gamma + \alpha(D + 2Px)(1 + Dx + Px^2) - \\ &- (1 + Dx + Px^2)^2 \alpha', (1 + Dx + Px^2)^3 P_3(x) = \alpha\beta\gamma + \alpha^2 N + 2\beta^3 x - \beta^2(1 + Dx + \\ &+ Px^2)^2 (\alpha / \beta)', \gamma(x) = -3Nx^2(H + Qx) + (C + D + (M + 2P)x)(1 + Dx + Px^2). \end{aligned}$$

Пусть  $P_3(x) \equiv 0$ . Тогда интегральные кривые системы симметричны относительно оси ОХ. Отсюда следует, что начало координат является центром.

Далее исследуем систему уравнений, составленную из приравненных к нулю коэффициентов полинома  $P_3(x)$ . В этом случае важную роль в поиске условий центра играют инвариантные кривые системы.

Найдены шесть условий центра, представленные ниже. Введем следующие обозначения  $\delta = C - D$ ,  $\sigma = 2C + D$ ,  $\nu = 3B - H$ ,  $\tau = 3B + 2H$ .

**Теорема.** Пусть  $V$  – многообразие центра системы (1). Тогда

$$\bigcup_{i=1}^6 V(J_i) \subset V,$$

$$\begin{aligned} \text{где } J_1 = \langle B, L, N, H, Q \rangle, J_2 = \langle 9K - A\sigma, A\tau + 9L, 9M + 2\tau\nu + \delta\sigma, \\ \delta\tau + 9N, \tau\nu + 9P + 2\sigma\delta, 3B(2(A+C)+D) + (2(2A-C)-D)H + 9Q \rangle, \\ J_3 = \langle A\tau^2 + \sigma(\tau\nu + \delta\sigma), 9\delta\tau^3 K + (\tau\nu + \delta\sigma)((9B^2 - 6BH - 8H^2)(\delta\tau + \\ + 9N) + \delta((4C - D)\tau + 18N)\sigma), 9\tau^2 L + (9N - (C + 2D)\tau)(\tau\nu + \delta\sigma), \\ \delta\tau((C + 2D)\delta - 9M) + 9N(3(C^2 - D^2) + 2\tau\nu), -9N(3C\delta + \tau\nu) + \delta\tau \\ ((C + 2D)\delta + 9P), -9\tau^2 Q + 9N(\delta\sigma - 3\tau H) + \tau(3B(4D - C)H - 2(5C - \\ - 2D)H^2 + (9B^2 + (5C + D)\delta)\sigma), 1 - \delta\tau t \rangle \bigcap \square[p], \\ J_4 = \langle 2H(36A^2 - 9C^2 + 8H^2) + 18\tau K - 9(2A + C + D)(2(2A - D)H + \\ + 3(BC + N)) + 9M(\nu - H) - 36H(BH + P) + 18(3B^2(B - H) - Q\sigma), 3\tau \\ H^2 M + 27HN((C + D)H - 2Q) + \tau(3(3C + 2D)\delta H^2 + 2\tau H^2 \nu - 6(C - \\ - 3D)HQ - 12Q^2), H^2 P - (DH - Q)Q, 3B(A + C) + (2A - D)H + 3(L + \\ + N + Q), 2A\tau^3 H^3 + \tau(\tau H^3(30BC + 6BD - 7CH - 5DH) - 3\tau(6B - 5H) \\ H^2 Q - 9(4C + 11D)HQ^2 + 54Q^3 - 27(C - 2D)H^2 Q\sigma + 9\delta H^3 \sigma^2) + 9HN \\ (\tau H^2(6B + H) + 3(H\sigma - 3Q)(H\sigma - 2Q)), 81H^2 N^2 - 54D\tau H^2 N - \tau^2 H^2 \\ (9(C^2 - D^2) + 2\tau\nu) + (9(C - 3D)\tau^2 H + 81\tau HN)Q + 18\tau^2 Q^2, 1 - \tau H t \rangle \bigcap \square[p], \\ J_5 = \langle \tau((C + 2D)H - 4Q)((2D - 5C)H^2 - (15B - 8H)Q + 3BH\sigma) + 9HN \\ ((7C - D)H^2 - (15B + 4H)Q + 3BH\sigma), -3H^2 M((7C - D)H^2 - (15B + 4H) \\ Q + 3BH\sigma) + ((C + 2D)H - 4Q)(\delta H + 2Q)(2(2H - 15B)Q + H(6B + H)\sigma), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 3B(A+C) + (2A-D)H + 3(L+N+Q), 18(4A^2 - C^2)H + 18\tau K - 9(2A + \\
& + C + D)(2(2A-D)H + 3(BC+N)) + 2\tau\nu(\nu - 3H) + 9M(\nu - H) - 18(2HP + \\
& + Q\sigma), H^2P - (DH - Q)Q, -4A\tau^2H^2 - H^3(3B(13C - 16D) + 2(17C - 14D) \\
& H) - (3(C - 7D)(4C - 3D) + \tau(39B - 4H))HQ - 30(4C - 3D)Q^2 + 3(3B^2 + \\
& + (4C - 3D)\delta)H^2\sigma, 40Q^3 - H^4(3B(C - 4D) + 2(5C - 2D)H) - (3(4C^2 - \\
& - 11CD + D^2) + \tau(15B - 8H))H^2Q + (9B^2 + (4C - D)\delta)H^3\sigma - 18HQ^2\sigma, 1 - \\
& - \tau H((7C - D)H^2 - (15B + 4H)Q + 3BH\sigma)t \rangle \bigcap \square[p], \\
& J_6 = \langle K, 2A(3A^2 + 50H^2) + 75HL, 24A^2(3A^2 + 50H^2) + 625H^2M, 12A^3 \\
& (3A^2 + 50H^2) + 3125H^3N, 4A^2(3A^2 + 50H^2) + 625H^2P, 2A(3A^2 + 50H^2) + \\
& + 125HQ, 75BH - 2(9A^2 + 50H^2), 125CH^2 - 6A^3, 125DH^2 + 2A(3A^2 + 25H^2), \\
& 1 - Ht \rangle \bigcap \square[p].
\end{aligned}$$

#### Литература

1. Амелькин В. В., Лукашевич Н. А., Садовский А. П. Нелинейные колебания в системах второго порядка. Мн., 1982.
2. Кокс Д., Литтл Дж., О'Ши Д. Идеалы, многообразия и алгоритмы. Введение в вычислительные аспекты алгебраической геометрии и коммутативной алгебры. М., 2000.
3. Садовский А. П. Полиномиальные идеалы и многообразия: пособие для студентов спец. 1-31 03 01 «Математика (по направлениям)», 1-31 03 01-01 26 «Компьютерная математика», 1-31 03 01-03 03 «Математические методы в экономике»//А.П. Садовский. Минск, 2008.

## ЭКСТРАКЦИЯ НОВОКАИНА В ВИДЕ ИОННОГО АССОЦИАТА С ПИКРАТОМ

А. В. Буйко, Р. Н. Давыдова

### ВВЕДЕНИЕ

Новокаин относится к местноанестезирующим препаратам и имеет большую широту терапевтического действия. Экстракция новокаина в виде ионных ассоциатов с кислотными красителями исследована слабо. Известно [1–2], что экстракция ионных ассоциатов – это простой и эффективный метод выделения и аналитического определения катионов, и в данной работе поставлена цель – исследовать экстракцию новокаина с пикратом, определить рН-зависимость и рассчитать константы экстракции и коэффициенты распределения.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе были использованы следующие реагенты: новокаин 2% водный раствор производства «Белмедпрепараты», пикриновая кислота марки ч.д.а.; толуол и октанол-1 квалификации ч. Тoluол дополнительно очищали от тиофена обработкой 70 % серной кислотой. Оптические свойства водных и органических растворов измеряли на спектрофотометре СФ-46. Экстракцию проводили в пробирках с пришлифованными пробками при температуре  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Новокаин, как видно из рис.1, содержит третичный атом азота, который может протонироваться и образовывать катионную форму.

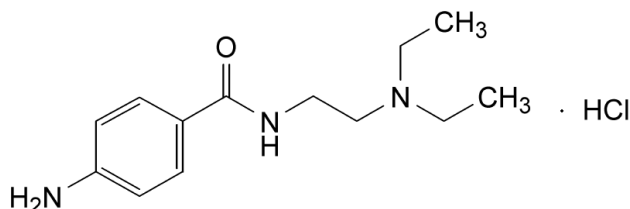
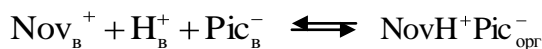


Рис.1. Структурная формула новокаина гидрохлорида ( $pK_a = 8,9$ )



Именно катионная форма новокаина образует ионный ассоциат с пикрат-анионами, который может быть проэкстрагирован в органический растворитель по реакции:



Для более полного прохождения этой реакции необходимо работать в оптимальном диапазоне pH – когда молярные доли катионных частиц новокаина и анионных частиц пикрата максимальны.

Как видно из рис. 2, оптимальная область pH экстракции ионного ассоциата находится в пределах от 5 до 7 ед., т.е. в нейтральной и слабокислой среде.

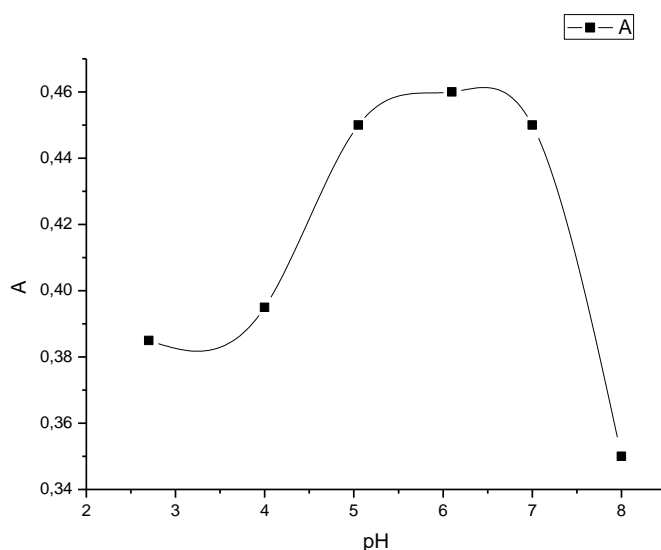


Рис.2. pH-зависимость при экстракции новокаина с пикратом из воды в толуол.

Так как для расчета коэффициентов распределения и констант экстракции требуются значения молярного коэффициента экстинкции ионного ассоциата, в данной работе проведено его определение по методу насыщения.

Для этого была измерена оптическая плотность органической фазы по мере нарастания избытка пикрат-ионов. Как видно из рис.3, при большом избытке пикрата наблюдается плато, которое свидетельствует о полной экстракции новокаина.

По величине оптической плотности на плато было рассчитано среднее значение молярного коэффициента экстинкции, равное 2860.

Полученное значение молярного коэффициента экстинкции позволило рассчитать коэффициент распределения новокаина и условную константу экстракции  $\text{NovH}^+ \text{Pic}^-$  (табл.1).

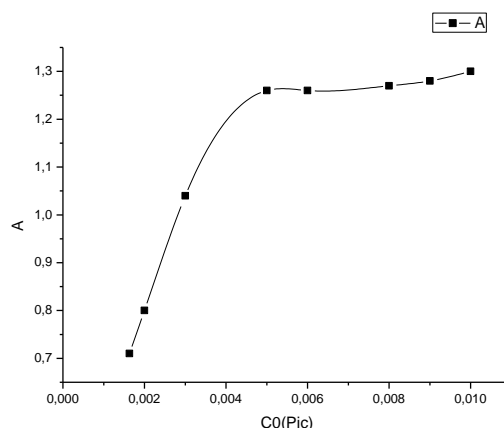


Рис. 3. Зависимость оптической плотности органической фазы от концентрации пикрата в водной фазе при экстракции  $\text{NovH}^+\text{Pic}^-$  в толуол

Таблица 1

**Экспериментальные значения коэффициентов распределения новокаина и условной константы экстракции ионного ассоциата  $\text{NovH}^+\text{Pic}^-$  в толуол**

$C_0(\text{Na}+\text{Pic}^-)$ , М	A	$[\text{NovH}+\text{Pic}]_{\text{оо}}$ , М	$[\text{NovH}^+]_{\text{в}}$ , М	$[\text{Pic}^-]_{\text{в}}$ , М	$\tilde{K}$	DNov
1,63E-03	0,71	8,16E-04	6,51E-04	8,14E-04	1,54E+03	1,3
2,00E-03	0,80	9,19E-04	5,48E-04	1,08E-03	1,55E+03	1,7

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследована экстракция новокаина в виде ионного ассоциата с пикрат-анионом. Установлен оптимальный pH-диапазон экстракции, определено значение молярного коэффициента экстинкции ионного ассоциата, рассчитаны коэффициенты распределения и константа экстракции пикрата новокаина из воды в толуол.

## Литература

1. Гулевич А. Л. Экстракционные методы разделения и концентрирования веществ // А. Л. Гулевич, С. М. Лещев, Е. М. Рахманько. Мн.: БГУ. 2009. С. 159.

## ЭКСТРАКЦИЯ КИСЛОТ СТЕРИЧЕСКИ НЕЗАТРУДНЕННЫМИ АМИНАМИ

Р. А. Глушко, Е. И. Кузнецова

## ВВЕДЕНИЕ

Селективность аналитических сенсоров – ионоселективных электродов практически полностью определяется экстракционными свойствами

используемых ионообменников. При создании анион-селективных электродов в качестве анионообменников чаще всего используются высшие четвертичные аммониевые соли или соли аминов [1, 2]. Варьируя строением катиона анионообменника, можно целенаправленно изменять экстрагируемость и селективность сенсоров. В данной работе синтезированы амины различной степени замещенности и оценена их экстракционная способность по отношению к хлорид- и нитрат-анионам.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе были использованы следующие реагенты: NaOH квалификация ч.д.а.; изопропиловый спирт ч. Амины: первичный – 3,4,5-трисдодецилоксибензиламин, вторичный - 3,4,5-трисдодецилоксибензилметиламин и третичный - 3,4,5-трисдодецилоксибензилдиметиламин были синтезированы на кафедре аналитической химии и очищены по оригинальной экстракционной методике. Растворы азотной и хлористо-водородной кислоты готовились из стандарт-титров соответствующих кислот.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Экстракцию изучали при температуре  $20 \pm 1$  °C. Раствор соли амина в толуоле объемом 100 мл помещали в делительную воронку и двукратно обрабатывали раствором гидроксида натрия ( $5 \cdot 10^{-2}$  M). Обработку проводили до полного исчезновения мути в органической фазе. После удаления водной фазы раствор отфильтровывали и определяли концентрацию амина методом потенциометрического титрования. Титрование проводили в среде изопропилового спирта, титрантом служил стандартный раствор хлористоводородной кислоты.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Экспериментально полученные концентрационные константы экстракции хлоридных и нитратных солей аминов различной замещенности представлены в таблице.

*Таблица*

**Концентрационные константы экстракции хлоридных и нитратных солей аминов различной структуры**

Амин	$K_{ex}(HCl)$	$K_{ex}(HNO_3)$
Первичный амин	$3,3 \cdot 10^5 \pm 1,4 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^5 \pm 2,3 \cdot 10^4$
Вторичный амин	$3,3 \cdot 10^5 \pm 1,4 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^5 \pm 2,3 \cdot 10^4$
Третичный амин	$4,9 \cdot 10^3 \pm 2,8 \cdot 10^2$	$6,1 \cdot 10^4 \pm 1,1 \cdot 10^3$

Как видно из данных, представленных в таблице, наилучшими экстракционными свойствами обладают первичный и вторичный амины. Константы экстракции для этих аминов близки. При переходе к третичному амину экстрагируемость как хлорид, так и нитрат –анионов резко уменьшается, что объясняется ухудшением стерической доступности обменного центра амина [3, 4].

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Синтезированы первичный, вторичный и третичный амины различного строения и оценена их экстракционная способность по отношению к хлорид- и нитрат-анионам. Экспериментально определены соответствующие константы экстракции. Установлено, что экстрагируемость как хлорид-, так и нитрат-анионов максимальна для первичных и вторичных аминов и резко падает при использовании третичного амина. Полученные данные можно использовать для оптимизации состава мембран жидкостных и пленочных ионоселективных электродов.

## **Литература**

1. *Шмидт В. С.* Экстракция аминами // В.С. Шмидт. М.: Атомиздат. 1980.
2. *Гулевич А. Л.* Экстракционные методы разделения и концентрирования веществ // А. Л. Гулевич, С. М. Лещев, Е. М. Рахманько. Мн.: БГУ. 2009. С. 159.
3. *Межов Э. А.* Экстракция аминами, солями аминов и четвертичных аммониевых оснований // Межов Э. А. М.: Атомиздат Т.2. 1977. С. 304.
4. *Хансон К. Н.* Последние достижения в области жидкостной экстракции // Хансон К. Н. М.: Атомиздат. 1974. С. 49.

## **КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ ИОНОВ $Mn(II)$ И $Fe(II)$ С ПРОСТРАНСТВЕННО ЭКРАНИРОВАННЫМИ О-ДИФЕНОЛАМИ И О-АМИНОФЕНОЛАМИ**

**А. Т. Гресь, Т. В. Ковальчук**

Результаты исследования свойств комплексов биоактивных производных дифенолов с ионами  $Co(II)$ ,  $Ni(II)$ ,  $Cu(II)$ ,  $Zn(II)$  и  $Ag(I)$  показали их перспективность как потенциальных антимикробных агентов [1]. В связи с расширением области поиска новых эффективных химиотерапевтических агентов представляет интерес дальнейшее изучение комплексообразования фенольных производных с другими ионами металлов, особенно с такими редокс-активными, как  $Fe(II)$  и  $Mn(II)$ , которые могут влиять на свойства этих лигандов, в том числе и на их биоактивность.

Цель данной работы состояла в изучении комплексообразования ионов  $Mn(II)$  и  $Fe(II)$  с производными пространственно экранированных о-

дифенолов и *o*-аминофенолов в водно-этанольном растворе, определении состава комплексов и геометрии координационных узлов в твердом состоянии, а также в оценке уровня их антифунгальной активности.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для изучения комплексообразования ионов  $Mn(II)$  и  $Fe(II)$  с производными фенольного ряда в качестве лигандов использовали *o*-дифенолы и *o*-аминофенолы, структурные формулы которых приведены на рис. 1. Изучение комплексообразования этих ионов проводили методом рН-метрического титрования в водно-этанольном растворе (1:1) и атмосфере аргона. В работе использовали иономер И-130. Для расчета констант устойчивости образующихся в растворе комплексов использовали известный алгоритм расчета [2]; совместное решение системы уравнений, описывающих протекающие равновесные процессы, осуществляли в программе MathCad [3].

Производные пространственно экранированных *o*-дифенолов и *o*-аминофенолов **I–V** и их металлокомплексы синтезировали по методикам, ранее опубликованным нами соответственно в работах [1] и [4, 5]. Рентгенофазовый анализ проводили на приборе ДРОН-3 ( $CuK_{\alpha}$ -излучение). ИК-спектры снимали на FT-IR спектрометре Spectrum 1000 в диапазоне  $4000\text{--}400\text{ см}^{-1}$ . Термограммы записывали на приборе ОД-103 при изменении температуры от  $20^{\circ}C$  до  $450^{\circ}C$  со скоростью  $5\text{ град/мин}$ .

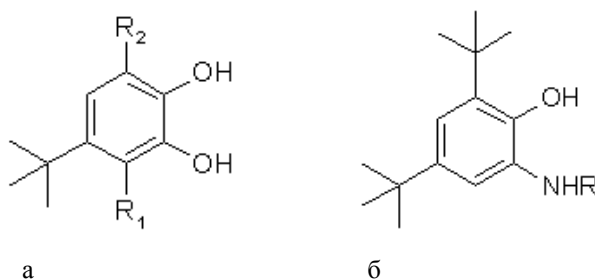


Рис. 1. Структурные формулы пространственно экранированных *o*-дифенолов и *o*-аминофенолов:

- а – лиганды **I–III**:  $R_1 = H$ ,  $R_2 = C(CH_3)_3$  – 3,5-ди-трет-бутилпирокатехин (**I**),  
 $R_1 = H$ ,  $R_2 = H$  – 4-трет-бутилпирокатехин (**II**),  
 $R_1 = OH$ ,  $R_2 = C(CH_3)_3$  – 4,6-ди-трет-бутилпирогаллол (**III**);  
 б – лиганды **IV** и **V**:  $R = H$  – 4,6-ди-трет-бутил-2-аминофенол (**IV**),  
 $R = C_6H_5$  – 2-анилино-4,6-ди-трет-бутилфенол (**V**).

Элементный анализ выполнен в Институте физики НАН Беларуси на приборе Vario EL GmbH (CHNS mode). Атомно-эмиссионный анализ содержания металла в комплексах проводился на спектрометре Spectro-

flame Modula. Оптические спектры поглощения растворов лигандов и их металлокомплексов в ацетонитриле записывали на спектрофотометре SPECORD M500. Спектры ЭПР поликристаллических образцов регистрировали на приборе Varian E-112 (X-диапазон; 9,3 ГГц) при температуре кипения жидкого азота (77 К) и при комнатной температуре. Антифунгальную активность определяли по стандартной методике [6].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение комплексообразования в водно-этанольном растворе ионов Mn(II) и Fe(II) с лигандами **I–V** показало, что в условиях эксперимента образуются комплексы состава металл(II) : лиганд = 1:2. Значения общих констант устойчивости комплексов соответствуют интервалу  $1,86 \cdot 10^5 \div 1,70 \cdot 10^6$ .

С использованием методики синтеза [1] выделены в кристаллическом состоянии комплексы Mn(II) и Fe(II) с лигандами **I–IV** и  $Mn(L^V)_2$ . Согласно данным рентгенофазового анализа, продукты синтеза характеризуются воспроизводимыми наборами межплоскостных расстояний, что позволяет считать их новыми индивидуальными химическими соединениями. Результаты элементного анализа свидетельствуют об образовании комплексов, состав которых соответствует общей формуле  $ML_2$  (где M = Fe(II) или Mn(II), а L – лиганды **I–V**), причем в случае Mn(II) и лигандов **II** и **III** расчет указывает на присутствие в составе комплексов двух молекул воды, что согласуется с данными термогравиметрического исследования – для них на кривой ДТА в области температур 65–120 °C наблюдается эндотермический пик. Для комплексов  $Fe(L^I)_2$ ,  $Fe(L^{II})_2$ ,  $Fe(L^{III})_2$ ,  $Fe(L^{IV})_2$ ,  $Mn(L^I)_2$ ,  $Mn(L^{IV})_2$ ,  $Mn(L^V)_2$  в области 50–160 °C на кривой ДТА эндотермических пиков не наблюдается, что указывает на отсутствие молекул растворителя в координационной сфере комплексов.

Согласно результатам анализа ИК-спектров, при комплексообразовании реализуются возможности координации ионов металла через атомы кислорода двух фенольных групп, причем лиганды **I–III** связаны с вышеуказанными ионами металлов в моноанионной форме. Очень широкая полоса в спектрах комплексов  $Mn(H_2O)_2L^{II}_2$  и  $Mn(H_2O)_2L^{III}_2$  в области  $3400\text{--}3200\text{ см}^{-1}$ , а также полосы в области  $770\text{--}670\text{ см}^{-1}$  могут указывать на наличие в структуре комплексов молекул воды [7]. Кроме того, появление новых полос в области  $580\text{--}420\text{ см}^{-1}$  указывает на образование связи M–O.

Установлено, что в координационном взаимодействии производных о-аминофенолов **IV** и **V** с ионами Fe(II) и Mn(II) участвует атом кислорода

фенольной ОН-группы в депротонированной форме. Отсутствие в спектрах металлокомплексов характеристических полос, относящихся к колебаниям группы  $C=N$  ( $1690-1640\text{ см}^{-1}$ ), и низкочастотное смещение полос колебаний связей  $C-N$  и  $-NH$  свидетельствуют о координации аминогруппы в протонированной форме [7]. Ряд полос в области  $420-585\text{ см}^{-1}$  может быть отнесен к валентным колебаниям связей  $M-N$  и  $M-O$  [7].

В спектрах ЭПР всех исследованных комплексов  $Mn(II)$  присутствует широкий сигнал ( $200-500\text{ G}$ ), величина  $g$ -фактора которого составляет  $2,015-2,04$ . Это характерно для низкоспиновых комплексов  $Mn(II)$  с искаженной геометрией координационных узлов и практически без  $Mn\cdots Mn$  взаимодействия [8]. Отсутствие сигнала в спектрах ЭПР у комплексов  $Fe(II)$  свидетельствует об их диамагнитном состоянии.

Для определения геометрии координационных узлов металлокомплексов проведен анализ электронных спектров поглощения, которые включают характеристические переходы ( $d-d$ , перенос заряда с участием орбиталей лиганда и металла (ПЗЛМ)), а также внутреннее поглощение лиганда (ВПЛ). Установлено, что комплексы  $Fe(L^I)_2$ ,  $Fe(L^{II})_2$ ,  $Fe(L^{III})_2$ ,  $Fe(L^{IV})_2$ ,  $Mn(L^I)_2$ ,  $Mn(L^{IV})_2$  и  $Mn(L^V)_2$  имеют плоскоквадратную геометрию координационных узлов  $MO_4$  и  $MO_4N_2$ , а  $Mn(H_2O)_2(L^{II})_2$  и  $Mn(H_2O)_2(L^{III})_2$  – октаэдрическую форму –  $MnO_6$ .

При проведении антифунгального скрининга комплексы  $Mn(II)$  и  $Fe(II)$  с лигандами **I–III** продемонстрировали очень высокую активность ( $RI = 90-100\%$ ) в отношении культур мицелиальных грибов *Mucor* spp., *Fusarium* spp. и *Botrytis cinerea* (а для комплекса  $Mn(L^I)_2$  еще и *Aspergillus niger*, *Penicillium lividum*), которая превышает или сопоставима с активностью антибиотиков нистатина, амфотерицина В и тербинафина.

## ВЫВОДЫ

1. Ионы  $Mn(II)$  и  $Fe(II)$  образуют в водно-этанольном растворе комплексы с производными *o*-дифенолов и *o*-аминофенолов **I–V**, в которых отношение  $M(II):L=1:2$ , их общие константы устойчивости изменяются в пределах  $1,86\cdot 10^5 \div 1,70\cdot 10^6$ .

2. Состав всех синтезированных комплексов  $Fe(II)$  и  $Mn(II)$  с лигандами **I, IV и V** в твердом состоянии соответствует общей формуле  $ML_2$ , а комплексов  $Mn(II)$  с лигандами **II и III** –  $Mn(H_2O)_2L_2$ .

3. Проведенное спектроскопическое исследование металлокомплексов указывает на плоскоквадратную ( $MO_4$  и  $MO_2N_2$ ) и октаэдрическую ( $MnO_6$ ) геометрию их координационных узлов.

4. Выявлена высокая антифунгальная активность комплексов Mn(II) и Fe(II) в отношении *Mucor* spp., *Fusarium* spp. и *Botrytis cinerea* (а для комплекса Mn(L<sup>I</sup>)<sub>2</sub> еще и *Aspergillus niger*, *Penicillium lividum*).

#### Литература

1. Loginova N. V., Koval'chuk T. V., Zheldakova R. A. et al. Copper (II) complexes of sterically hindered diphenol derivatives: synthesis, characterization and microbiological studies // *Centr. Eur. J. Chem.* 2006. Vol. 4. P. 440–457.
2. Бородин В. А., Козловский Е. В., Васильев В. П. и др. Обработка результатов потенциометрического исследования комплексообразования в растворах на ЭЦВМ // *Журн. коорд. химии.* 1986. Т. 31. №. 1. С. 10–16.
3. Гурский Д., Турбина Е. MathCAD для студентов и школьников. СПб. 2005.
4. Масловская Л. А. и др. Синтез и антиокислительные свойства производных алкилированного пирокатехина // *Журн. общ. химии.* 1996. Т. 66. № 11. С. 1893–1898.
5. Шадыро О. И., Сорокин В. Л., Ксендзова Г. А. и др. Синтез и противовирусная активность N-ацильных производных 4,6-ди-(*трет*-бутил)-2-аминофенола // *Хим.-фарм. журнал.* 2002. Т. 36. №8. С. 14–16.
6. Першин Г. Н. Методы экспериментальной химиотерапии М. 1971.
7. Белами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. М. 1963.
8. Керрингтон А. Магнитный резонанс и его применение в химии М. 1970.

### СИНТЕЗ (15R)-C13-C21 ФРАГМЕНТА МОЛЕКУЛ ЭПОТИЛОНОВ ИЗ D-МАННИТА

**В. Н. Коваленко**

Первые представители соединений ряда эпотилонов были выделены из экстрактов миксобактерии *Sorangium cellulosum* [1] и привлекли значительное внимание исследователей как перспективные кандидаты для разработки противоопухолевых агентов. Многочисленные научные работы последних лет посвящены синтезу и исследованию биологических свойств эпотилона В (1) (рис. 1) и его синтетических аналогов. В настоящее время некоторые из этих соединений проходят клинические испытания, а 15-аза-эпотилон В (2) стал действующим веществом противоопухолевого препарата под торговым названием Ixempra [2, 3]. В ходе разработок циклопропанольных методологий синтеза природных соединений был найден эффективный путь синтеза тиазолсодержащего C13–C21 эпотилонового фрагмента (S)-3 из L-яблочной кислоты [4]. В настоящей работе сообщается о превращении доступного D-маннита в C13–C21 эпотилоновый фрагмент (R)-3, перспективный интермедиат в синтезе эпотилонов и их аза-аналогов через стадию замещения гидроксильной группы с обращением стереохимической конфигурации атома углерода C15 [5].



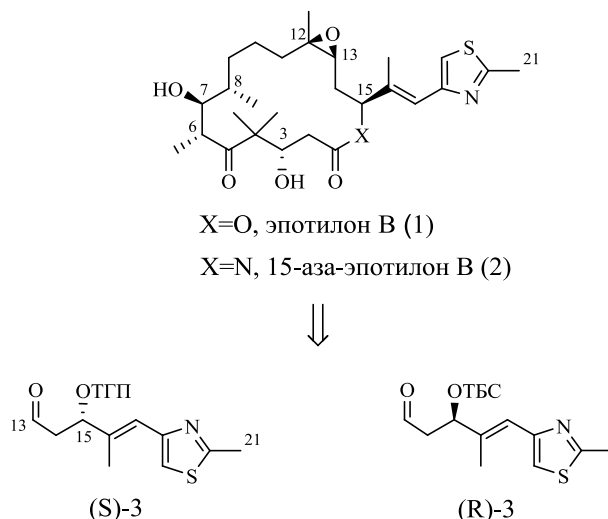


Рис. 1

D-Маннит (4) был превращен в бис-циклогексидиновое производное 5, деструктивное окисление вицинального диольного фрагмента в котором по методике, предложенной для соответствующего изопропилиденового аналога [6], привело к известному метил-2,3-О-циклогексидиен-D-глицерату (6) (рис. 2) [7]. Взаимодействие сложного эфира 6 с этилмагнийбромидом в присутствии эквимольного количества изопропоксида титана(IV) с хорошим выходом дало циклопропанол 7, тогда как выход продукта циклопропанирования изопропилиденового производного метил-D-глицерата в аналогичных условиях не превышал 60% [8]. Попытки циклопропанирования соединения 6 в присутствии каталитических количеств изопропоксида титана(IV) приводили к существенно более низким выходам соединения 7.

По аналогии с описанной ранее схемой синтеза C13–C21 фрагмента эпотиловых молекул (S)-3, замещенный циклопропанол 7 переводили в соответствующий метансульфонат, который превращали в 2-замещенный аллилбромид 8 через индуцируемую бромидом магния катионную циклопропил-аллильную перегруппировку. Медь-катализируемое сочетание аллилбромида 8 с приготовленным из 4-бром-2-метилтиазола (9) 2-метилтиазолил-4-магнийбромидом (10) протекало гладко, приводя к метиленовому производному 11. При этом описанная в литературе методика получения соединения 9 путём метилирования диметилсульфатом 4-бромтиазолил-2-лития, приготовленного из легкодоступного 2,4-дибромтиазола реакцией галоген-литоиевого обмена [9], была существенно улучшена за счёт обработки реакционной массы водным раствором аммиака и очистки продукта монометилирования 9 перегонкой в вакууме.

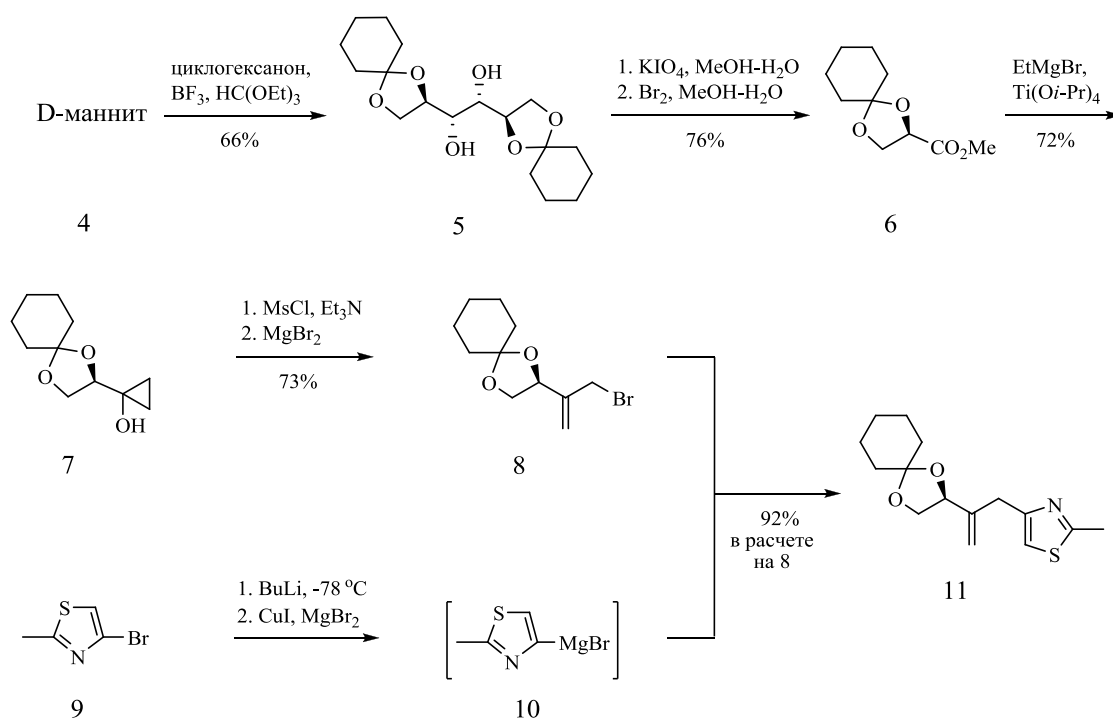


Рис. 2

Использование предложенной в оригинальной методике водной обработки реакционной массы не позволяло полностью избавиться от избытка метилирующего агента, а очистка 4-бром-2-метилтиазола (9) колоночной хроматографией на силикагеле от побочно образующегося 2,5-диметилтиазола затруднялась близкой хроматографической подвижностью этих веществ.

Кипячение раствора дизамещённого олефина 11 в *трет*-бутиловом спирте в присутствии *трет*-бутилата калия привело к перемещению дизамещённой двойной связи в сопряженное положение с тиазольным циклом и образованию с высокой стереоселективностью тризамещенного (Е)-олефина 12 [4] (рис. 3). Кислотный гидролиз в последнем ацетальной группировки и последующее избирательное тозилрование первичного гидроксила в образовавшемся 1,2-диоле дало моносulfонат 13, который действием цианида натрия в диметисульфоксиде переводился в  $\beta$ -гидроксинитрил 14. Следует отметить, что в ходе последнего превращения в реакционной массе помимо субстрата 13 и продукта 14 фиксировалось также образование оксианового производного 15, возможно являющегося непосредственным предшественником нитрила 14.

Оптическая чистота вторичного спирта 14, составившая не менее 99%, была установлена на основании спектра ПМР эфира Мошера 16. Силилирование соединения 14 и последующее восстановление нитрильной

группы диизобутилалюминийгидридом привели к целевому альдегиду (R)-3 с выходом 15% в расчете на D-маннит 4 или 30% в расчете на сложный эфир 6.

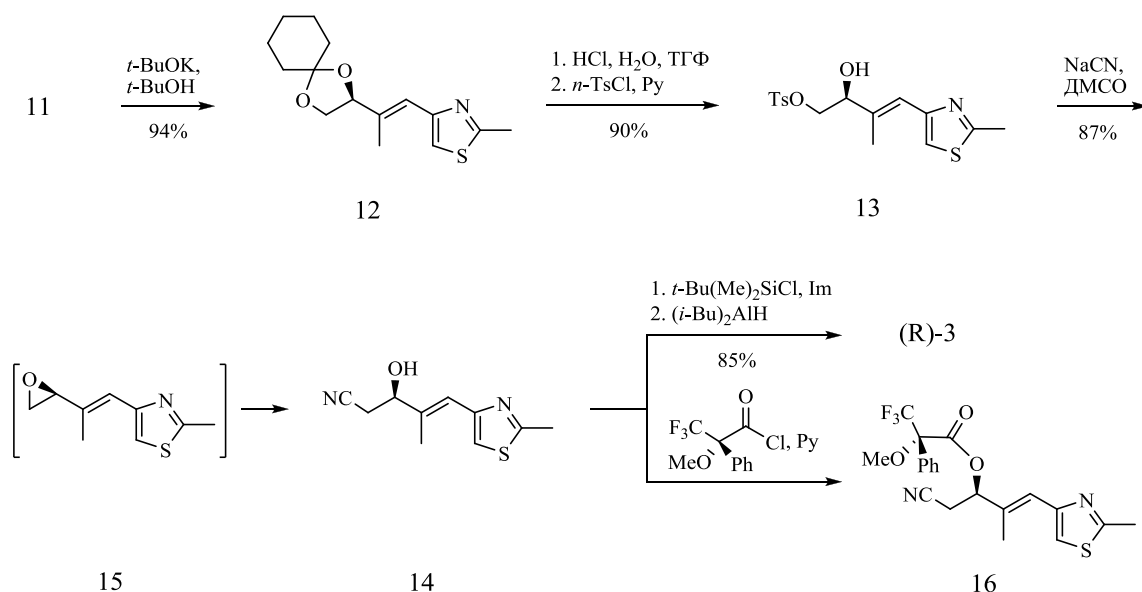


Рис. 3

В заключение следует отметить, что описанная в настоящей работе схема синтеза C13–C21 фрагмента (R)-3 молекул эпотилонов отличается меньшим числом стадий и большим суммарным выходом целевого продукта в сравнении с разработанной ранее схемой получения C13–C21 фрагмента молекул эпотилонов (S)-3 из L-яблочной кислоты.

### Литература

1. Gerth K., Bedorf N., Höfle G., Irschik H., Reichenbach H. Epothilons A and B: antifungal and cytotoxic compounds from *Sorangium cellulosum* (myxobacteria). Production, physico-chemical and biological properties // J. Antibiot. 1996. Vol. 49. № 6. P. 560–563.
2. Feyen F., Cachoux F., Gertsch J., Wartmann M., Altmann K. H. Epothilones as lead structures for the synthesis-based discovery of new chemotypes for microtubule stabilization // Acc. Chem. Res. 2008. Vol. 41. № 1. P. 21–31.
3. Conlin A., Fornier M., Hudis C., Kar S., Kirkpatrick P. Ixabepilone // Nat. Rev. Drug Discov. 2007. Vol. 6. № 12. P. 953–954.
4. Bekish A. V., Isakov V. E., Kulinkovich O. G. A cyclopropanol approach to the synthesis of the C13–C21 fragment of epothilones from diethyl (S)-malate // Tetrahedron Lett. 2005. Vol. 46. № 41. P. 6979–6981.
5. Stachel S. J., Lee C. B., Spassova M., Chappell M. D., Bornmann W. G., Danishefsky S. J., Chou T. C., Guan Y. On the interactivity of complex synthesis and tumor pharmacology in the drug discovery process: total synthesis and comparative in vivo evaluations of the 15-aza epothilones // J. Org. Chem. 2001. Vol. 66. № 12. P. 4369–4378.
6. Lichtenthaler F. W., Jarglis P., Lorenz K. Convenient one-pot conversion of alcohols into esters via hemiacetal intermediates // Synthesis. 1988. № 10. P. 790–792.

7. Schrötter E., Luong T. T., Schick H. 3-Alkylated (R)-2,3-dihydroxyalkyl p-toluenesulfonates – homochiral building blocks for modified steroid side chains // J. pr. Chem. 1990. Vol. 332. № 2. P. 191–197.
8. Hurski A. L., Sokolov N. A., Kulinkovich O. G. A cyclopropanol approach to the synthesis of both enantiomers of the C13–C21 fragment of epothilones // Tetrahedron. 2009. Vol. 65. № 17. P. 3518–3524.
9. Karama U., Höfle G. Synthesis of epothilone 16,17-alkyne analogs by replacement of the C13–C15(O)-ring segment of natural epothilone C // Eur. J. Org. Chem. 2003. № 6. P. 1042–1049.

## ЭНАНТИОСЕЛЕКТИВНОЕ ЦИКЛОПРОПАНИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ ДИАЛКОКСИТИТАНОЦИКЛОПРОПАНОВЫМИ РЕАГЕНТАМИ

Ю.А. Коник, Д. Г. Кананович

Взаимодействие сложных эфиров с титанацклопропановыми реагентами приводит к 1,2-дизамещенным циклопропанолам – ценным синтетическим интермедиатам [1]. Разработка энантиоселективной версии этой реакции открывает путь к хиральным циклопропанолам, которые могут использоваться в стереоселективном синтезе природных соединений [2].

Ранее нами было показано, что при циклопропанировании изопропилового эфира 4-хлормасляной кислоты **1** в присутствии 10 % мольн. катализатора на основе алкоксидов титана(IV), модифицированных (4R,5R)-2,2-диметил- $\alpha,\alpha,\alpha',\alpha'$ -тетрафенил-1,3-диоксалан-4,5-диметанолом [3] **2A** [Ti(Oi-Pr)<sub>2</sub>(TADDOL)] в диэтиловом эфире образуется преимущественно циклопропанол *цис*-**3** с выходом 41 % и энантиомерным избытком 42 % (рис. 1). С целью улучшения выхода и стереохимической чистоты целевого циклопропанола *цис*-**3** нами была продолжена работа по оптимизации условий проведения реакции.

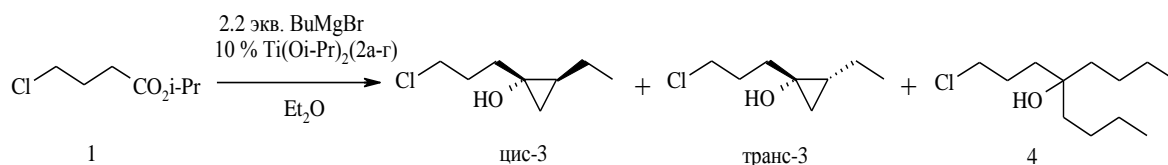


Рис. 1.

Изучение влияния структуры хиральных лигандов семейства TADDOLов (рис. 2) на свойства образующегося титанового катализатора показало, что как уменьшение (лиганд **2Б**), так и увеличение (лиганды **2В** и **2Г**) пространственной загруженности карбинольного фрагмента лигандов **2** не приводит к улучшению энантиомерной чистоты и выхода продукта реакции *цис*-**3** (табл. 1). Наилучшие результаты были получены при использовании лиганда **2А**, содержащем фенильные заместители.

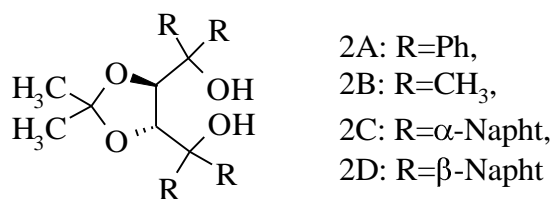


Рис. 2. Структура лигандов

Таблица 1

**Зависимость диастерео- и энантиоселективности реакции от структуры лигандов**

Лиганд	Выход <i>цис</i> - <b>3</b> , (%)	<i>Цис</i> -/ <i>транс</i> - <b>3</b>	<i>ee</i> , (%)
2A	42	4:1	42
2B	42	2:1	0
2C	31	1:1	0
2D	36	2:1	33

С целью определения оптимального количества катализатора, нами была изучена зависимость диастерео- и энантиоселективности модельной реакции от количества каталитических циклов (табл. 2).

Таблица 2

**Зависимость диастерео- и энантиоселективности реакции от количества каталитических циклов**

Количество каталитических циклов	Количество BuMgBr, экв.	<i>Цис</i> -/ <i>транс</i> - <b>3</b>	<i>ee</i> , (%)
1	0,3	6:1	50
2	0,6	6:1	50
3	0,9	6:1	50
4	1,2	5:1	50
5	1,5	3:1	32
8	2,5	3:1	35

Эффективность катализатора не меняется в течение четырех каталитических циклов, а затем заметно снижается, что, возможно, связано с накоплением в реакционной смеси алкоголятов магния и изменением структуры катализатора вследствие замещения изопропоксидных групп в катализаторе на более пространственно затрудненные циклопропоксидные.

Исходя из полученных результатов, представлялось целесообразным увеличить загрузку хирального катализатора до 20-30 % мольн. Действительно, циклопропанирование сложного эфира **1** бутилмагнийбромидом в присутствии 20 % мольн. Ti(Oi-Pr)<sub>2</sub>(TADDOL) приводило к смеси *цис*- и *транс*-изомерных циклопропанолов **3** в соотношении 5,5:1 и суммар-

ными выходами 48-55 %. Энантиомерный избыток циклопропанола *цис*-**3** составил 67 %. Дальнейшее увеличение количества катализатора до 30 % мольн. привело к незначительному увеличению выхода и энантиомерного избытка циклопропанола *цис*-**3** (выход *цис*-**3** составил 62 %, энантиомерный избыток 72 %).

Далее нами было исследовано влияние растворителя (табл. 3). Было обнаружено, что по мере увеличения способности растворителя к сольватации ионов металлов (ТГФ, ДМЕ) выход *цис*-циклопропанола **3** и *цис*-диастереоселективность реакции резко уменьшается. В то же время, использование *трет*-бутилметилового эфира и, особенно, смеси толуола и диэтилового эфира приводит к значительному увеличению *цис*-диастереоселективности реакции. В системе растворителей толуол – эфир (6:1) циклопропанол *цис*-**3** получен с выходом 60 % при соотношении *цис*- и *транс*-диастереомеров 20:1. Энантиомерный избыток *цис*-**3** составил 67 %.

Таблица 3

**Влияние растворителя  
на диастерео- и энантиоселективность реакции**

Растворитель	Выход <i>цис</i> - <b>3</b> , (%)	<i>Цис</i> -/ <i>транс</i> - <b>3</b>	<i>ee</i> , (%)
Et <sub>2</sub> O	47	5,5:1	67
t-BuOMe	40	7:1	62
толуол-Et <sub>2</sub> O (1:1)	54	14:1	60
толуол-Et <sub>2</sub> O (6:1)	60	20:1	67
ТГФ	33	3:1	42
ДМЭ	12	1,5:1	39

Влияние температуры на стереохимические характеристики реакции было изучено на примере циклопропанирования сложного эфира **1** бутилмагнийбромидом в системе растворителей толуол–эфир (6:1) в присутствии 20 % мольн. хирального титанового катализатора Ti(Oi-Pr)<sub>2</sub>(TADDOL) (табл. 4).

Таблица 4

**Влияние температуры  
на диастерео- и энантиоселективность реакции**

Температура, °C	Выход продукта, (%)		<i>Цис</i> -/ <i>транс</i> - <b>3</b>	<i>ee</i> , (%)
	3	4		
0	0	0	-	-
18	48	5	8:1	55
35-40	65	менее 10	20:1	67
65-70	50	менее 10	9:1	65

При понижении температуры сильно падает выход, диастерео- и энантиоселективность процесса, вплоть до полного прекращения реакции при 0°C. Тем не менее, повышение температуры до 65–70°C также не приводит к увеличению выхода и стереохимической чистоты *цис*-**3**.

Таким образом, к настоящему времени циклопропанол *цис*-**3** образуется с наилучшими выходами (60–62 %) и стереохимической чистотой (*цис:транс* = 20:1, 67–72 % *ее*) при проведении реакции в присутствии 20–30 % мольн. катализатора Ti(Oi-Pr)<sub>2</sub>(TADDOL), в системе растворителей толуол–эфир (6:1) при температурах 35–40°C.

#### Литература

1. Кулинкович О. Г. Алкилирование производных карбоновых кислот диалкоксититана-циклопропановыми реагентами // Изв. Акад. Наук. Сер. Хим. 2004. №5. С. 1022–1043.
2. Kulinkovich O. G. Synthetic applications of intermolecular cyclopropanation of carboxylic esters with dialkoxytitanacyclopropane reagents // Eur. J. Org. Chem. 2004. № 22. P. 4517–4529.
3. Seebach D., Beck A. K., Heckel A. TADDOLs, Their Derivatives, and TADDOL Analogues: Versatile Chiral Auxiliaries // Angew. Chem. Int. Ed. 2001. №40. P. 92–138.

## МИГРАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ УРАНА В ПОЧВАХ БЕЛАРУСИ

Н. И. Позняк, Е. В. Войникова, М. В. Попеня

### ВВЕДЕНИЕ

Радиоактивность окружающей среды обусловлена природными и техногенными радионуклидами. Естественные радионуклиды рядов распада <sup>232</sup>Th и <sup>238</sup>U, а также <sup>40</sup>K присутствуют практически во всех компонентах экосистем. Содержание урана в земной коре варьирует в широком диапазоне (0,1–20 мг·кг<sup>-1</sup>) и в среднем составляет 2 мг·кг<sup>-1</sup>. В природе встречаются три естественных альфа-излучающих изотопа урана: <sup>238</sup>U с периодом полураспада 4,5·10<sup>9</sup> лет (99,285% от суммарного содержания урана в земной коре), <sup>235</sup>U с периодом полураспада 7,04·10<sup>8</sup> лет (0,71 %) и <sup>234</sup>U с периодом полураспада 2,24·10<sup>5</sup> лет (0,0053%) [1, 2].

Перераспределение урана в окружающей среде и поступление в организм человека существенно зависят от его состояния и поведения в почвенном покрове и природных водах, являющихся важнейшими элементами экосистем. Запас миграционноактивных форм радионуклидов в почвах составляют радионуклиды, накапливающиеся в почвенных поровых водах, которые играют определяющую роль при перераспределении

радионуклидов по профилю почв, проникновении в грунтовые и поверхностные воды и накоплении растительностью, влияя на поступление радионуклидов в трофические цепи человека.

Настоящая работа посвящена определению фоновых уровней содержания урана в почвах и поровых водах почв с целью оценки запаса его миграционноактивных форм в почвах различного генезиса.

## **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Объектами исследования являлись образцы 0–10 см слоев почв, отобранные в 2008 г. в различных регионах Беларуси (Минская, Гомельская, Гродненская, Витебская, Брестская области), и поровых растворов, выделенных из этих почв.

Почвенную поровую влагу извлекали из водонасыщенных образцов почв, находящихся в состоянии межфазного равновесия, посредством высокоскоростного центрифугирования на установке SIGMA 4-10 [3].

Характеристики почвенных образцов (содержание органических компонентов, полную влагоемкость, кислотность почвенной среды) определяли по стандартным методикам [4, 5]. Концентрацию органических компонентов в почвенных растворах и соотношение фульвокислотных (ФК) и гуминовокислотных (ГК) фракций устанавливали по методике Д.С. Орлова [6].

Содержание урана в образцах почв и почвенных растворов определяли разработанным в НИЛ радиохимии БГУ методом радиохимического анализа с альфа-спектрометрической идентификацией радионуклидов [7]. Радиохимический выход урана оценивали по выходу радиоактивного индикатора, в качестве которого использовали  $^{233}\text{U}$ .

Расширенная неопределенность полученных значений удельной активности почвенных образцов по  $^{238}\text{U}$  составляет 6–9 %, а удельной активности поровых растворов — 10–15 % при доверительной вероятности 0,95 и условии подчинения полученных значений распределению Гаусса.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Изучены образцы песчаных разновидностей дерново-подзолистых почв (реперы ДПП-1–ДПП-17), суглинистой (ДСг-1) и супесчаной (ДСп-1) разновидностей аллювиальных дерновых, а также высокоминерализованной торфянистой (Т-2) и торфяно-болотной (Т-1) почв. Полученные значения удельной активности образцов почв и почвенных поровых растворов вместе с важнейшими характеристиками, которые могут влиять на физико-химическое состояние и миграционные свойства урана в почвенной среде (полная почвенная влагоемкость, содержание органических компонентов в почвах и почвенных растворах, pH почвенных растворов), приведены в таблице.



Таблица

**Характеристики и удельная активность образцов почв  
и поровых растворов по  $^{238}\text{U}$**

Репер	ПВ, %	ОК, %	ОК <sub>ПР</sub> , %	pH <sub>H2O</sub>	A <sub>П</sub> , Бк·кг <sup>-1</sup>	C <sub>У</sub> , n·10 <sup>-4</sup> масс. %	A <sub>ПР</sub> , Бк·кг <sup>-1</sup>	α, %
ДПП-1	38±1	4,0±0, 2	0,16	5,0	5,2±0,4	0,42	0,019±0,003	0,14
ДПП-2	29±1	2,8±0, 2	0,12	5,0	9,2±0,9	0,74	0,040±0,004	0,13
ДПП-3	39±1	3,3±0, 2	0,18	5,5	12±1	0,96	0,066±0,007	0,21
ДПП-4	31±1	3,3±0, 2	0,07	6,0	5,2±0,3	0,42	0,016±0,002	0,10
ДПП-5	35±1	3,3±0, 2	0,10	5,0	6,4±0,6	0,51	0,014±0,002	0,08
ДПП-6	45±1	5,9±0, 2	0,22	5,2	6,1±0,4	0,49	0,026±0,003	0,19
ДПП-7	36±1	1,7±0, 1	0,20	5,0	9,0±0,7	0,72	0,058±0,006	0,23
ДПП-8	41±1	2,7±0, 2	0,17	5,0	6,4±0,6	0,51	0,025±0,003	0,16
ДПП-9	34±1	2,8±0, 2	0,10	5,5	5,5±0,5	0,44	0,016±0,002	0,10
ДПП-10	51±2	5,9±0, 2	0,18	5,0	8,0±0,6	0,64	0,029±0,004	0,18
ДПП-11	30±1	2,8±0, 2	0,08	5,2	7,5±0,5	0,60	0,014±0,002	0,06
ДПП-12	36±1	3,9±0, 2	0,06	6,0	8,4±0,7	0,67	0,021±0,003	0,09
ДПП-13	51±1	5,0±0, 2	0,27	5,5	6,5±0,6	0,52	0,037±0,005	0,29
ДПП-15	39±2	4,2±0, 2	0,08	5,0	4,8±0,4	0,39	0,011±0,002	0,09
ДПП-16	42±2	4,7±0, 2	0,12	5,0	5,9±0,5	0,47	0,015±0,002	0,11
ДПП-17	37±3	3,0±0, 2	0,09	5,3	8,3±0,7	0,83	0,026±0,003	0,12
ДС <sub>Г</sub> -1	91±6	8,5±0, 3	0,10	5,8	12±1	0,96	0,012±0,002	0,09
ДС <sub>П</sub> -1	67±3	8,0±0, 3	—	5,5	11,1±0,8	0,89	—	—
Т-1	570±4 0	77±1	2,3	5,9	10,7±0,8	0,86	0,013±0,002	0,69
Т-2	124±5	28±1	0,26	5,0	22±2	1,8	0,027±0,003	0,15
ОК — содержание органических компонентов в почве, % от массы абсолютно су-								

хих образцов; ПВ — полная почвенная влагоемкость, % от массы абсолютно сухих образцов; рНН<sub>2</sub>O — рН поровых растворов водонасыщенных почвенных образцов; АП — удельная активность почвенных образцов по <sup>238</sup>U, Бк·кг<sup>-1</sup>; СU — массовое содержание <sup>238</sup>U в почвенных образцах, масс. %; АПР — удельная активность поровых растворов, Бк·кг<sup>-1</sup>; α — относительное содержание <sup>238</sup>U в поровой влаге водонасыщенных образцов почв, % от содержания <sup>238</sup>U в почве.

Как видно из данных, приведенных в таблице, удельная активность почвенных образцов по <sup>238</sup>U варьирует в интервале 4,8–22 Бк·кг<sup>-1</sup>, что соответствует массовому содержанию радионуклида  $(0,4–1,7) \cdot 10^{-4}$  мас. %. Наблюдается существенная неоднородность в распределении урана в почвенном покрове даже на территории одного района. Так, в пределах Ельского района (реперы ДПП-3–ДПП-6) содержание урана в 0–10 см слое почв может отличаться более чем в два раза. В соответствии с классификацией Э.Д. Шагаловой, приведенной в работе [8], основная часть изученных почвенных образцов относится к группе почв с пониженным  $((0,5–1,0) \cdot 10^{-4}$  мас. %) или низким (менее  $0,5 \cdot 10^{-4}$  мас. %) содержанием урана. В целом, полученные данные хорошо согласуются с результатами других авторов, изучавших содержание урана в почвах Беларуси [8, 9].

Удельная активность почвенных поровых растворов составляет 0,011–0,066 Бк·кг<sup>-1</sup>. С учетом полной влагоемкости почвенных образцов по этим данным оценено относительное содержание <sup>238</sup>U в составе поровой влаги почв (α). Как видно из таблицы оно варьирует в интервале 0,06–0,69 % от общего содержания радионуклида в почве. Максимальная доля урана (0,69 %) характерна для поровых вод торфяно-болотной почвы, отличающейся максимальной влагоемкостью (570 %) и наибольшей долей органических компонентов в растворе (2,3 %). В большинстве же образцов поровых вод относительное содержание урана не превышает 0,2 % от его содержания в почве.

Установлена тесная связь между относительным содержанием органических компонентов (ОК<sub>ПР</sub>, %) и урана (А<sub>ПР</sub>, %) в почвенных растворах, которая отчетливо проявляется в образцах минеральных почв (рис.).

Как следует из рисунка, увеличение относительного содержания органических компонентов в почвенной поровой влаге способствует увеличению запаса в почве миграционноактивных форм урана. Наблюдаемая зависимость указывает на поступление урана в раствор в виде комплексных соединений с органическими составляющими почв.

Способность почв удерживать радионуклид оценена по величине коэффициента межфазного распределения  $K_D$  — отношению между удельными активностями твердой фазы и порового раствора почвы в состоянии межфазного равновесия.

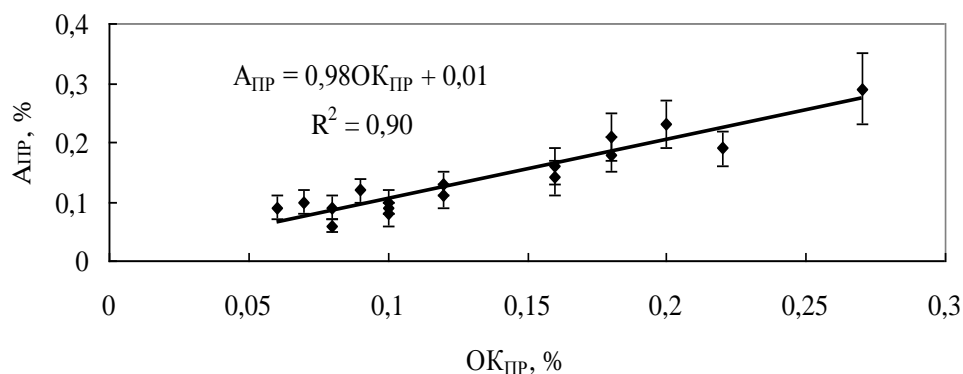


Рис. Взаимосвязь между относительным содержанием урана (АПР, %) и органических компонентов (ОКПР, %) в поровых растворах минеральных почв

Установлено, что среди изученных разновидностей почв наиболее высокой способностью удерживать уран обладают образцы аллювиальной дерновой суглинистой и органических почв — торфянистой и торфяно-болотной. Величины коэффициента  $K_D$  для образцов этих почв (810–1 000) значительно выше, чем для образцов дерново-подзолистых песчаных почв (160–540), что способствует более высокой подвижности урана в дерново-подзолистых песчаных почвах по сравнению с аллювиальными дерновыми суглинистыми и органическими почвами.

Неодинаковая миграционная способность урана в почвах различного генезиса может быть связана с особенностями структуры органического вещества почв. В составе органического вещества дерново-подзолистых песчаных почв преобладают подвижные фульвокислотные компоненты, торфяно-болотных почв — малоподвижные гуминовокислотные компоненты, а в составе органического вещества дерновых почв содержание фульвокислотных и гуминовокислотных компонентов соизмеримо [6]. При этом большая часть фульвокислотных компонентов ассоциирована в почвах с высокомолекулярными и малоподвижными гуминовокислотными составляющими. Уран обладает высокой склонностью к образованию устойчивых комплексных соединений с различными органическими составляющими почв [10], поэтому большая часть урана, связанного в почвах с органическим веществом, находится в малоподвижном состоянии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определен запас миграционноактивных форм урана в минеральных и органических почвах Беларуси, содержащих преимущественно уран естественного происхождения. Выявлено существенное влияние мобильных органических компонентов, поступающих в почвенные растворы, на запас миграционноактивных форм урана в почвенной среде. Увеличение доли подвижных органических компонентов и влагоемко-

сти почв способствует увеличению запаса миграционноактивных форм урана в почвах. В целом, миграционная способность урана в почвенной среде зависит от соотношения в органическом веществе почв подвижных и малоподвижных компонентов, образующих соединения с ураном. Показано, что в условиях полного водонасыщения миграционная способность урана в дерново-подзолистых песчаных почвах заметно выше, чем в аллювиальных дерновых суглинистых, торфяных и торфяно-болотных почвах. Об этом свидетельствуют более высокие коэффициенты распределения урана между твердой фазой и поровой влагой водонасыщенных песчаных почв.

### Литература

1. *Тумаева Н. А.* Ядерная геохимия. М.: Изд-во МГУ. 2000. С. 336.
2. *Garshasbi H, Karimi Diba J., Jahanbakhshian M.H.* Measurements of natural uranium concentration in Caspian Sea and Persian Gulf water by laser fluorimetric method // *Uran. J. Radiat. Res.* 2005. 3(3). С. 157–164.
3. *Овсянникова С.В., Соколик Г.А., Эйсмонт Е.А. и др.* Почвенные растворы в процессах миграции  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Am}$  // *Геохимия.* 2000. №2. С. 222–234.
4. ГОСТ 11306-83. Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности. М. 1995.
5. ГОСТ 26483-85 – ГОСТ 26490-85. Почвы. М. 1995.
6. *Орлов Д.С.* Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М. 1990. С. 335.
7. *Соколик Г. А., Овсянникова С. В., Войникова Е. В. и др.* Радионуклиды радия и урана в почвах Беларуси // *Литосфера.* 2010. № 1 (32). С. 128–134.
8. *Шагалова, Э.Д.* Содержание  $^{238}\text{U}$  в почвах Беларуси. // *Почвоведение.* 1986. № 2. С. 140–145.
9. *Анисова Ж.М.* Природные изотопы урана в почвах и растениях сосновых лесов Минской возвышенности. Мн.: Белорусская наука. 2008. С. 162.
10. Influence of humic acids on the migration behavior of radioactive and nonradioactive substances under conditions close to nature. // *FZKA 6557. Karlsruhe.* 2000. P. 121.

## ВЛИЯНИЕ ВИТАМИНОВ ГРУППЫ В НА РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЕ ДЕФОСФОРИЛИРОВАНИЕ А-ГЛИЦЕРОФОСФАТА В ДЕАЭРИРОВАННЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

**Р. Л. Свердлов, С. Д. Бринкевич**

### ВВЕДЕНИЕ

Свободнорадикальные процессы повреждения фосфорорганических соединений играют ключевую роль в развитии радиобиологических последствий воздействия ионизирующего излучения на организм человека. В работе [1] было показано, что в результате свободнорадикальной

фрагментации фосфолипидов, протекающей через стадию деструкции  $\alpha$ -гидроксилсодержащих углерод-центрированных радикалов ( $\alpha$ -ГУР), образуются фосфатидные кислоты, регулирующие пролиферацию клеток.

На кафедре радиационной химии и химико-фармацевтических технологий Белгосуниверситета было установлено, что витамины группы В способны ингибировать свободнорадикальные процессы с участием  $\alpha$ -ГУР – дегидратацию  $\alpha$ -диолов и реакции разрыва О-гликозидной связи дисахаридов [2-3]. Поэтому настоящая работа посвящена изучению способности витаминов группы В подавлять радиационно-индуцированное дефосфорилирование  $\alpha$ -глицерофосфата ( $\alpha$ -ГФ) в деаэрированных водных растворах.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе без предварительной очистки использовались динатриевая соль  $\alpha$ -ГФ чистотой 90 % (Fluka), рибофлавин ( $B_2$ ), никотинамид ( $B_3$ ), пиридоксин ( $B_6$ ) и пиридоксальфосфат (PPh) чистотой не менее 98 % (Sigma). Структурные формулы, использованных в работе витаминов, представлены на рис. 1.

Приготовление растворов осуществлялось по методике, описанной в работе [4]. Концентрации тестируемых соединений составляли  $10^{-3}$  моль/литр ( $2 \cdot 10^{-4}$  моль/литр для  $B_2$ ). Концентрацию  $\alpha$ -ГФ варьировали в диапазоне  $10^{-3} - 10^{-1}$  моль/литр. Облучение растворов осуществляли  $\gamma$ -квантами изотопа  $^{60}\text{Co}$  на установке МРХ- $\gamma$ -25М. Мощность дозы –  $0,43 \pm 0,005$  Гр/с. Диапазон поглощенных доз составлял 0,1 – 1,9 кГр.

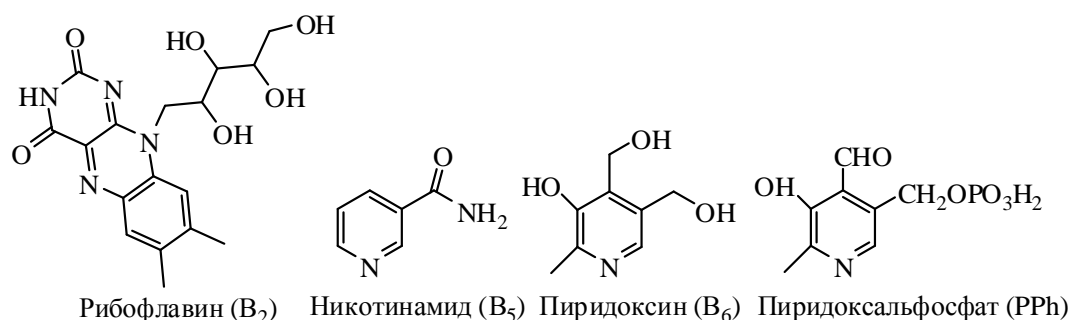


Рис. 1. Структурные формулы использованных соединений

Неорганический фосфат в присутствии органического фосфата определяли реagenтно-спектрофотометрически, используя модифицированную методику [5]. К 0,5 мл анализируемого раствора последовательно приливали 1 мл 1,8 % раствора  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  в 1 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 0,2 мл 10 %  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  в 0,075 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и 4 мл бидистиллированной воды. В раствор, используемый для сравнения, вместо 0,5 мл анализируемого об-

разца добавляли такое же количество бидистиллированной воды. Затем, полученную смесь перемешивали на шейкерном столе в течение 10 минут. Оптическую плотность растворов измеряли по максимуму поглощения при  $\lambda = 720$  нм. Концентрации добавок до и после облучения определяли спектрофотометрически на Specord S600. Радиационно-химические выходы (G) образования неорганического фосфата и расходования тестируемых соединений рассчитывали на линейных участках зависимости концентраций веществ от поглощенной дозы с использованием метода наименьших квадратов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Неорганический фосфат является главным продуктом радиолиза  $\alpha$ -ГФ в деаэрированных водных растворах при pH 7. Радиационно-индуцированное дефосфорилирование  $\alpha$ -ГФ протекает по схеме, представленной на рис. 2.

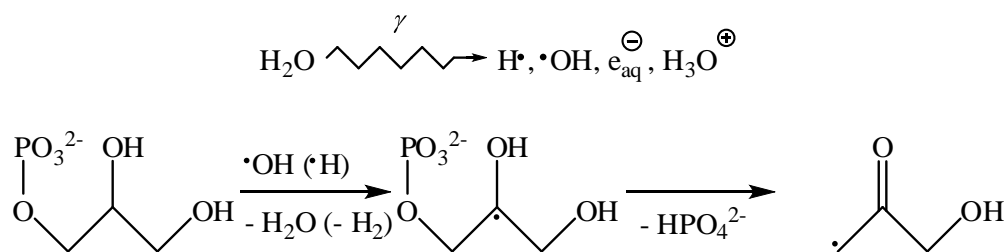


Рис. 2. Радиационно-индуцированное дефосфорилирование  $\alpha$ -ГФ в деаэрированных водных растворах

При воздействии ионизирующего излучения на растворы, содержащие эквимольные концентрации органического фосфата и тестируемых соединений, исходя из принципа конкурирующих реакций, степень подавления процесса дефосфорилирования будет главным образом определяться соотношением констант скорости взаимодействия органического фосфата и тестируемых соединений с продуктами радиолиза воды:  $\bullet\text{H}$  и  $\bullet\text{OH}$ .

Данные, представленные в таблице, свидетельствуют о том, что при радиолизе в эквимольных с органическим субстратом концентрациях витаминов  $\text{B}_2$ ,  $\text{B}_5$ ,  $\text{B}_6$  и  $\text{PPh}$  эффективно подавляют процесс дефосфорилирования  $\alpha$ -ГФ. Радиопротекторные свойства в данных условиях были наиболее выражены для витамина  $\text{B}_6$ , в присутствии которого наблюдалось шестикратное снижение G неорганического фосфата.

При увеличении концентрации органического фосфата в 10 раз снижение G неорганического фосфата в присутствии тестируемых соединений происходит не пропорционально изменению соотношения концентраций  $\alpha$ -ГФ : добавка. Этот факт свидетельствует о существовании других

механизмов подавления радиационно-индуцированного дефосфорилирования гидроксилсодержащих органических фосфатов тестируемыми соединениями. При радиолизе 0,1 М водных растворов  $\alpha$ -ГФ  $\bullet$ Н и  $\bullet$ ОН преимущественно взаимодействуют с органическим субстратом с образованием углерод-центрированных радикалов. Следовательно, в данных условиях подавление дефосфорилирования  $\alpha$ -ГФ тестируемыми соединениями обусловлено взаимодействием добавок с  $\alpha$ -ГУР органического фосфата.

При соотношении концентрации  $\alpha$ -ГФ : добавка 100 к 1 было установлено, что В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub> и РРh приблизительно в равной степени подавляют процесс дефосфорилирования (см. табл.). Невысокий G разложения витамина В<sub>2</sub> свидетельствует о возможности регенерации добавки при ее взаимодействии с радикалами  $\alpha$ -ГФ.

Таким образом, в настоящей работе установлено, что в эквимольных с  $\alpha$ -ГФ концентрациях витамины группы В эффективно подавляют радиационно-индуцированное дефосфорилирование гидроксилсодержащего органического фосфата в деаэрированных водных растворах за счет более высоких констант скорости реакции с радикальными продуктами радиолиза воды.

Таблица

**Влияние витаминов группы В на свободнорадикальные превращения  $\alpha$ -ГФ в деаэрированных водных растворах**

Система	G, молекула / 100 эВ	
	Неорганический фосфат	Разложение добавки
Концентрация $\alpha$ -ГФ $10^{-3}$ моль/литр		
Без добавок	$1,89 \pm 0,05$	-
Рибофлавин	$0,83 \pm 0,02$	$- 0,07 \pm 0,02$
Никотинамид	$0,56 \pm 0,05$	$- 0,28 \pm 0,02$
Пиридоксин	$0,30 \pm 0,13$	$- 0,71 \pm 0,05$
Пиридоксальфосфат	$0,83 \pm 0,10$	$- 1,80 \pm 0,11$
Концентрация $\alpha$ -ГФ $10^{-2}$ моль/литр		
Без добавок	$2,41 \pm 0,06$	-
Рибофлавин	$1,56 \pm 0,05$	$- 0,16 \pm 0,02$
Никотинамид	$1,87 \pm 0,10$	$- 0,16 \pm 0,02$
Пиридоксин	$1,23 \pm 0,06$	$- 1,08 \pm 0,08$
Пиридоксальфосфат	$1,42 \pm 0,08$	$- 1,69 \pm 0,17$
Концентрация $\alpha$ -ГФ $10^{-1}$ моль/литр		
Без добавок	$2,84 \pm 0,07$	-
Рибофлавин	$1,65 \pm 0,08$	$- 0,05 \pm 0,01$
Никотинамид	$2,29 \pm 0,05$	-
Пиридоксин	$1,68 \pm 0,03$	$- 0,96 \pm 0,07$
Пиридоксальфосфат	$1,80 \pm 0,05$	$- 2,33 \pm 0,07$

При радиолизе 0,1 М деаэрированных водных растворов  $\alpha$ -ГФ было показано, что витамины группы В способны подавлять радиационно-

индуцированное дефосфорилирование за счет взаимодействия с  $\alpha$ -ГУР гидроксилсодержащих органических фосфатов.

### Литература

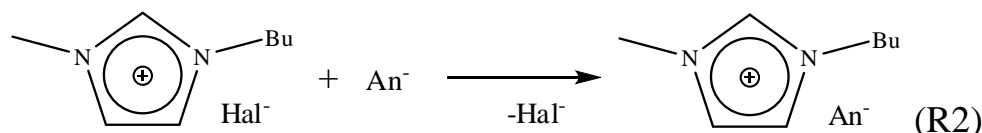
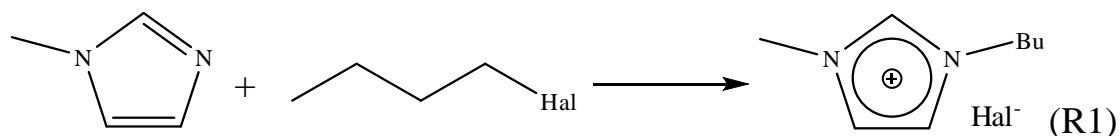
1. Yurkova I. L.; Kisel M. A.; Arnhold, J.; Shadyro O. I. Iron-mediated free-radical formation of signaling lipids in a model system. // *Chemistry and Physics of Lipids* 2005. Vol. 137. № 1–2. P. 29–37.
2. Lagutin P. Yu.; Shadyro O. I. Effect of the B Vitamins on the Radiolysis of Aqueous Ethanol and Ethylene Glycol Solutions. // *High Energy Chemistry*. 2005. Vol. 39. № 5. P. 277–281.
3. Lagutin P. Yu.; Shadyro O. I. Effect of B group vitamins on reactions of various  $\alpha$ -hydroxyl-containing organic radicals. // *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*. 2005. Vol. 15. № 16. P. 3797–3800.
4. Brinkevich S. D.; Shadyro O. I. Effects of Coenzyme Q<sub>0</sub>, Ascorbic Acid, and Its Glycoside on the Radiation-Induced Dephosphorylation of Organic Phosphates in Aqueous Solutions. // *High Energy Chemistry*. 2009. Vol. 43. № 6. P. 435–439.
5. Lin T.-I.; Morales M. F. Application of a One-Step Procedure for Measuring Inorganic Phosphate in the Presence of Proteins: The Actomyosin ATPase System. // *Analytical Biochemistry*. 1977. P. 10–17.

## ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ РЕАКЦИИ КВАТЕРНИЗАЦИИ 1-МЕТИЛИМИДАЗОЛА 1-БРОМБУТАНОМ В АЦЕТОНИТРИЛЕ

Д. С. Фираго

### ВВЕДЕНИЕ

Низкотемпературные ионные жидкости (ИЖ) – соли с температурой плавления ниже 100°C [1]. Они привлекают внимание исследователей из-за потенциальной возможности их использования в различных областях науки и техники. Чаще всего синтез ИЖ осуществляют в две стадии:



На первой стадии получают ИЖ, содержащую хлорид- или бромид-анион (R1), в реакции кватернизации азотистого основания 1-бромалканом, а на второй – проводят реакцию обмена галогенид-аниона на другой анион (R2). ИЖ с катионом 1-бутил-3-метилимидазолия ( $[\text{C}_4\text{mim}]^+$ ) являются наиболее исследуемыми представителями данного класса.



Целью настоящей работы является изучение кинетики синтеза бромида 1-бутил-3-метилимидазолия  $[C_4mim]Br$  при взаимодействии 1-метилимидазола с 1-бромбутаном (R1): *определение порядка данной реакции, ее константы скорости и энергии активации.*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе были использованы 1-бромбутан (BuBr) чистотой 99.7 % (Acros Organics), 1-метилимидазол (MeIm) чистотой 99.0 % (Fluka), ацетонитрил ( $CH_3CN$ ) чистотой 99.99 % (Химмед).

Получение  $[C_4mim]Br$  без растворителя является более предпочтительным, из-за отсутствия возможности загрязнения продукта остатками растворителя после его удаления. Однако в ходе предварительного эксперимента без растворителя был зафиксирован подъем температуры реакционной смеси на  $2^\circ C$ . Это обстоятельство не позволяет исследовать ее кинетику в изотермическом режиме. По этой причине для исследования была выбрана система с растворителем – ацетонитрилом, в нем растворяются как BuBr и MeIm, так и  $[C_4mim]Br$ .

Эксперимент проводили следующим образом. В круглодонной колбе на 50 мл смешивали около 10 мл ацетонитрила и 0.3–15 мл BuBr. Одновременно шприцем отбирали от 1.0 до 4.5 мл MeIm. Проводили термостатирование колбы и шприца в течении 30 минут. Реагенты смешивали. Во время эксперимента реакционную смесь постоянно перемешивали. Для контроля степени протекания процесса из реакционной смеси отбирали пробы от 0.2 до 2.3 мл шприцом с длинной иглой. В пробах титровали остаток MeIm 0.100 н азотной кислотой непосредственно в стаканчике для взвешивания.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По полученным данным (массам BuBr, MeIm,  $CH_3CN$ , времени и объемам кислоты) производили расчет концентраций BuBr и MeIm.

Можно предположить, что исследуемая реакция протекает по механизму  $S_N2$ , так данный механизм характерен для схожих реакции [2,3]. Дифференциальное кинетическое уравнение для таких реакций может быть записано в виде:

$$-\frac{dn \text{ MeIm}}{dt} = k \frac{n \text{ MeIm} \cdot n \text{ BuBr}}{V}, \quad (1)$$

где  $k$  – константа скорости химической реакции,  $V$  – объем реакционной смеси,  $n(\text{MeIm})$  и  $n(\text{BuBr})$  – текущие концентрации реагентов. Уравнению (1) соответствует интегральное кинетическое уравнение:

$$\theta = A \ln \frac{n \text{ MeIm}}{n_0 \text{ MeIm}} + B - A \ln \frac{n \text{ BuBr}}{n_0 \text{ BuBr}} = -kt, \quad (2)$$

где  $A$  и  $B$  зависят от молярных объемов, а также начальных количеств компонентов реакционной смеси.

Было установлено, что при начальных концентрациях реагентов  $0.5\text{--}0.6 \text{ моль} \cdot \text{дм}^{-3}$  зависимость их концентраций от времени до степени превращения 70 % описывается прямой в координатах  $\theta - t$  (рис. 1). Данный факт подтверждает кинетическое уравнение (1), однако при более высоких концентрациях реагентов наблюдается систематическое отклонение наблюдаемых зависимостей от прямой (рис. 1).

Значение производной в какой-либо точке наблюдаемых зависимостей равно эффективной константе скорости  $k$  в данный момент времени. Из рис. 1 видно, что величины  $k$  значительно отличаются даже в начальный момент времени. Так, при уменьшении концентрации  $\text{BuBr}$  в исходной смеси от 5 моль/л до 0.5 моль/л при постоянном значении концентрации  $\text{MeIm}$  происходит увеличение  $k$  более чем в два раза.

Константа скорости реакции ( $k_0$ ), которая не зависит от концентрации исходных веществ, была определена по начальным скоростям 17 опытов, осуществленных при температуре 328.5 К. Концентрации реагентов в различных опытах изменялись в пределах 0.4–5 моль/л. Обработку экспериментальных производили с использованием теории регулярных растворов Скетчарда-Гильдебранта. Значение константы скорости реакции после обработки данным методом составило  $(2.42 \pm 0.16) \cdot 10^{-4} \text{ дм}^3 \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$  при 328.5 К.

Отклонение экспериментальных точек от прямой в ходе опыта (рис. 1) может быть объяснено зависимостью коэффициентов активностей реагентов и переходного состояния от состава реакционной смеси и, как следствие, присутствия в ней ИЖ. В этом случае для описания зависимости концентрации реагентов от времени необходимо использовать уравнения более сложного вида, чем (2), однако в общем виде данную зависимость можно представить как  $\theta' = k_0 t$ , где  $\theta'$  – некоторая функция, зависящая от молярных объемов, начальных и текущих количеств компонентов реакционной смеси, а также их параметров растворимости. В отличие от молекулярных жидкостей, параметр растворимости ИЖ  $\delta_{\text{IL}}$  не может быть определен из термодинамических экспериментальных данных. По этой причине данный параметр был найден нелинейным методом наименьших квадратов по результатам 28 опытов. Его величина составила  $25.9 \pm 1.3 (\text{кДж/см}^3)^{0.5}$ . С использованием данного параметра были рассчитаны коэффициенты активности реагентов и переходного состояния и

зависимость концентраций реагентов от времени. На рис. 2 представлены зависимости  $\theta'$  от  $t$  для ряда опытов. Как видно из рисунка отклонение экспериментальных точек в различных опытах от кинетической кривой значительно меньше, чем до обработки.

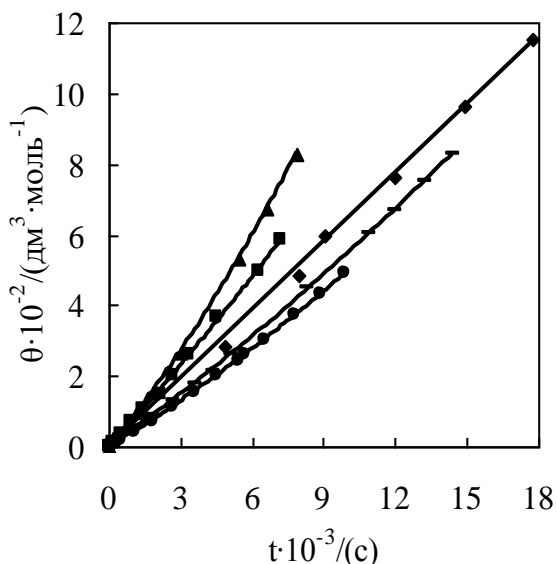


Рис. 1. Зависимость  $\theta$  от времени для ряда опытов при 328.5K:

- ▲ –  $C(\text{MeIm})=3.027\text{M}$   $C(\text{BuBr})=1.152\text{M}$ ,
- –  $C(\text{MeIm})=2.277\text{M}$   $C(\text{BuBr})=0.739\text{M}$ ,
- ◆ –  $C(\text{MeIm})=0.542\text{M}$   $C(\text{BuBr})=0.579\text{M}$ ,
- –  $C(\text{MeIm})=0.857\text{M}$   $C(\text{BuBr})=3.346\text{M}$ ,
- –  $C(\text{MeIm})=0.725\text{M}$   $C(\text{BuBr})=3.922\text{M}$

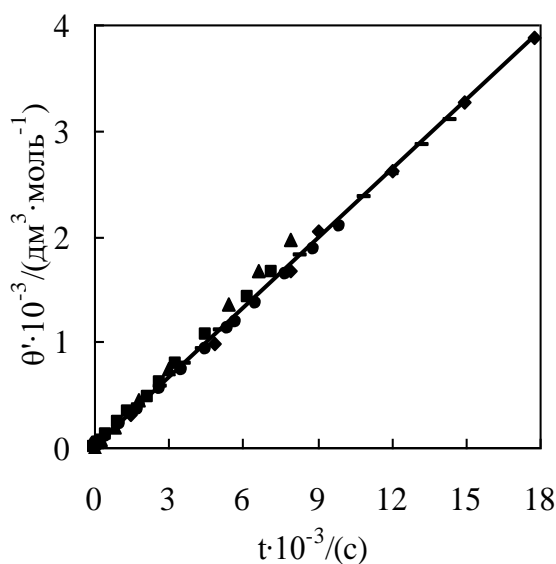


Рис. 2. Зависимость  $\theta'$  от времени для ряда опытов при 328.5K:

- ▲ –  $C(\text{MeIm})=3.027\text{M}$   $C(\text{BuBr})=1.152\text{M}$ ,
- –  $C(\text{MeIm})=2.277\text{M}$   $C(\text{BuBr})=0.739\text{M}$ ,
- ◆ –  $C(\text{MeIm})=0.542\text{M}$   $C(\text{BuBr})=0.579\text{M}$ ,
- –  $C(\text{MeIm})=0.857\text{M}$   $C(\text{BuBr})=3.346\text{M}$ ,
- –  $C(\text{MeIm})=0.725\text{M}$   $C(\text{BuBr})=3.922\text{M}$

Энергия активации реакции  $76 \pm 5$  кДж·моль<sup>-1</sup> была найдена по начальным скоростям 12 опытов, проведенных при температурах 313–343 К с близкими концентрациями исходных веществ. Данная величина находится в хорошем соответствии со значениями, полученными для аналогичных систем с растворителем [2], и без него [2,4]: отличие составляет не более 10%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы установлено, что реакция кватернизации 1-метилимидазола 1-бромбутаном является реакцией второго порядка. Для данной реакции доказано следующее кинетическое уравнение:

$$W = -\frac{dn \text{ MeIm}}{dt} = k_0 \frac{\gamma_c(\text{MeIm}) \cdot \gamma_c(\text{BuBr})}{\gamma_c(\text{TS})} \cdot \frac{n \text{ MeIm} \cdot n \text{ BuBr}}{V},$$

в котором значения коэффициентов активностей можно рассчитать по уравнению Скетчарда-Гильдебранта. Показано, что коэффициенты активности реагентов и переходного состояния зависят от концентрации продукта реакции бромида 1-бутил-3-метилимидазолия. Энергия активации реакции составила  $76 \pm 5$  кДж/моль.

### Литература

1. *Thomas Welton*. Room-temperature ionic liquids. Solvents for synthesis and catalysis // *Chem. Rev.* 1999. Vol. 99. P. 2071–2083.
2. *J.C. Schleicher, A.M. Scurto*. Kinetics and solvent effects in the synthesis of ionic liquids: imidazolium. 1999. Vol. 11. P. 694–703.
3. *A. Grosse Boewing, A. Jess*. Kinetics of single- and two-phase synthesis of ionic liquid 1-butyl-3-methylimidazolium chloride. *Green Chem.* 2005. Vol 7. P. 230–235
4. *Y. U. Paulechka, A. G. Kabo, A. V. Blokhin*. Calorimetric Determination of the Enthalpy of 1-Butyl-3-methylimidazolium Bromide Synthesis: A Key Quantity in Thermodynamics of Ionic Liquids // *J. Phys. Chem.* 2009. Vol. 113. P. 14742–14746.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЛАНДШАФТОВ МИНСКОГО РАЙОНА**

**И. С. Буткевич**

Оценка экологического состояния ландшафтов является важнейшей составной частью комплексного изучения качества окружающей среды. Она проводится на основании изучения и анализа различных показателей, главным образом через оценку антропогенного воздействия на ландшафты, под которым следует понимать совокупность различных видов влияния хозяйственной деятельности человека на окружающую среду. В данной статье антропогенное воздействие рассматривается с учетом форм, масштабов и интенсивности влияния деятельности человека на окружающую среду в пределах изучаемого административного района. Операционной единицей исследования выступили природно-антропогенные ландшафты (ПАЛ), карта которых составлена по методике, разработанной Г.И.Марцинкевич [1]. На карте нашли отражение классы, подклассы и роды ПАЛ.

Комплексный показатель преобразованности территории отражает антропогенное воздействие, различающееся в зависимости от характера различных видов земельных угодий. Этот показатель определяется на основе расчета коэффициентов антропогенной преобразованности (АП) и относительной ( $K_o$ ) напряженности эколого-хозяйственного состояния земель по методике Б.И. Кочурова [2], основу которой положено ранжирование земель на 5 групп по степени АП: от очень низкой до очень высокой. Каждая степень соотносится с определенным весовым коэффициентом преобразованности территории. Так, для лесных и болотных земель этот коэффициент равен 1, пойменных лугов – 2, суходольных лугов и кустарников – 3, пахотных угодий – 4, населенных пунктов – 5.

Рассчитанные коэффициенты антропогенной преобразованности и относительной напряженности эколого-хозяйственного состояния земель дали приблизительно одинаковые результаты. Поэтому в дальнейшем для работы использовались значения коэффициента относительной напряженности эколого-хозяйственного состояния земель. Данный показатель был рассчитан для каждого выделенного в пределах изучаемого района подкласса ПАЛ. Полученные данные были проранжированы и занесены в таблицу, с присвоением каждому из них соответствующей степени АП (табл. 1).

Таблица 1

## Степень антропогенной преобразованности ландшафтов

Подклассы ПАЛ	Градации степени АП		
	низкая	средняя	высокая
	до 1	1-2	более 2
Лесохозяйственный	0,24		
Пахотно-лесной	0,54		
Селитебно-лесопольевой		1,73	
Лесопольевой		1,42	
Рекреационно-лесопольевой		1,66	
Селитебно-пахотно-лесной	0,89		
Пахотно-луговой	0,25		
Пахотный			5,28

Наибольшей преобразованностью отличается пахотный подкласс ПАЛ, что обусловлено высокой степенью освоенности ландшафта, преобладанием здесь большого количества земель сельскохозяйственного назначения (преимущественно пашни), а также достаточно плотной сельской застройки. Наименьшей – лесохозяйственный подкласс ПАЛ, ввиду присущей ему высокой лесистости и незначительной степени освоенности. Средняя степень АП характерна для лесопольевого, селитебно-лесопольевого и рекреационно-лесопольевого подклассов ПАЛ, в которых уровень сельскохозяйственной освоенности, плотности застройки и площадь земель, используемых в целях рекреации, в целом соизмерима с площадями, занятыми естественными, средостабилизирующими территориями (лесами, болотами, водными объектами). Следовательно, территория данных ПАЛ является сбалансированной по степени АП и потенциалу устойчивости природной среды.

Для оценки экологического состояния ландшафтов района рассчитан показатель плотности локальных антропогенных источников загрязнения природной среды, таких как полигоны твердых бытовых отходов (ТБО), места размещения животноводческих комплексов и молочно-товарных ферм на 1 км<sup>2</sup> в границах подклассов ПАЛ.

Полученные данные проранжированы на 3 класса по уровню плотности источников загрязнения природной среды. В результате было установлено, что плотность антропогенных источников загрязнения по территории района варьирует от 0,01 до 0,15 км/км<sup>2</sup>. Максимальная нагрузка характерна для пахотно-лугового подкласса ПАЛ (0,15 км/км<sup>2</sup>), что обусловлено наличием здесь высокой концентрации животноводческих комплексов и молочно-товарных ферм (16 шт.), а также размещением 4 мини-полигонов ТБО при относительно небольшой общей площади данного ПАЛ. Достаточно высокая плотность антропогенных источников загрязнения (0,11 км/км<sup>2</sup>) характерна также и для пахотного подклас-

Таблица 2

**Экологическое состояние природно-антропогенных ландшафтов**

АП	Плотность антропогенных источников загрязнения, км/км <sup>2</sup>		
	Высокая	Средняя	Низкая
Высокая	пахотный		
Средняя		селитебно-лесополевой; лесополевой	Рекреационно-лесополевой
Низкая	пахотно-луговой		Пахотно-лесной; Селитебно-пахотно-лесной

са ПАЛ, где сосредоточено наибольшее в районе количество животноводческих комплексов и молочно-товарных ферм (23 шт.), а также мини-полигонов ТБО (9 шт.). К ПАЛ со средней плотностью антропогенных источников загрязнения относятся лесополевой, лесохозяйственный и селитебно-лесополевой подклассы. Для пахотно-лесного и селитебно-пахотно-лесного подклассов ПАЛ характерна низкая плотность антропогенных источников загрязнения ввиду малой их концентрации в границах вышеперечисленных территорий. Следует отметить, что рекреационно-лесополевой подкласс ПАЛ, в пределах которого расположено 17 площадок временного хранения органики и 5 мини-полигонов ТБО, среди которых крупнейшие в районе – Северный и Прудиче, также относится к группе ПАЛ с низкой плотностью антропогенных источников загрязнения, что, в первую очередь, обусловлено его большой площадью, составляющей 524 км<sup>2</sup>.

Интегральная оценка экологического состояния ландшафтов района проводилась по разработанной автором методике путем сопоставления и анализа показателей АП и плотности антропогенных источников загрязнения окружающей среды в границах подклассов ПАЛ. Данные по вышеуказанным критериям были сведены в одну таблицу, в которой каждый подкласс ПАЛ занял соответствующее место с учетом показателей плотности животноводческих комплексов, молочно-товарных ферм и мини-полигонов ТБО, а также АП территории (табл. 2).

Для получения общего показателя интегральной оценки экологического состояния подклассов ПАЛ Минского района, каждой из выделенных степеней АП, а также плотности ферм и ТБО были присвоены балльные значения от 1 до 3. Так, высокая степень АП территории и соответственно плотности ферм и ТБО (антропогенных источников загрязнения) оценивалась в 3 балла, средняя в 2, а низкая – 1 балл. Баллы по каждому из подклассов ПАЛ были просуммированы, что позволило провести классификацию подклассов ландшафтов в зависимости от значения общего показателя интегральной оценки их экологического состояния на три группы: ПАЛ с благоприятным, удовлетворительным и напряженным экологическим состоянием.

Напряженным экологическим состоянием в пределах Минского района отличается пахотный подкласс ПАЛ, что объясняется значительной антропогенной преобразованностью территории, наличием здесь крупных площадей земель сельскохозяйственного назначения (преимущественно пашни), а также высокой концентрацией объектов негативного антропогенного воздействия на природную составляющую ландшафта. Здесь расположено 23 животноводческих комплексов и молочно-товарных ферм, а также 9 мини-полигонов ТБО, среди которых такие крупные, как Кайково, Леонтьевичи, Привольный и другие. Удовлетворительным экологическим состоянием характеризуется наибольшее количество подклассов ПАЛ. Они отличаются относительно высокой плотностью ферм и ТБО, варьирующей от 0,04 до 0,15 км/км<sup>2</sup>, и преимущественно средней АП территории. К ПАЛ с благоприятным экологическим состоянием относится селитебно-пахотно-лесной и пахотно-лесной. Для данных комплексов характерна незначительная АП территории при невысокой сельскохозяйственной освоенности, наличие достаточно больших площадей, занятых лесной растительностью, и отсутствие крупных мини-полигонов ТБО.

Таким образом, можно сделать вывод, что большая часть Минского района (67,7 %) – его центральная и западная части характеризуется удовлетворительным экологическим состоянием. Территории с благоприятным экологическим состоянием, распространены преимущественно на востоке и северо-востоке и занимают 17,7 % от общей площади изучаемого района. Напряженным экологическим состоянием характеризуются южные части района, которые занимают 14,6 % территории и отличаются невысокой устойчивостью природных комплексов к возрастающему антропогенному воздействию

#### **Литература**

1. *Марцинкевич Г. И.*, Пространственная структура природно-антропогенных ландшафтов Беларуси в связи с особенностями природопользования // Брэсцкі геагр. Веснік. Т. 2. Вып. 2. Брэст, 2002.- С. 40-46.
2. *Кочуров Б. И.*, Геоэкология: Экодиагностика и эколого-хозяйственных баланс территорий. Смоленск, 1999.

### **РАЗРАБОТКА УЧЕБНОГО КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ПОСОБИЯ ПО ГЕОГРАФИИ БЕЛАРУСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Л. В. Головач**

Школьная география имеет важное образовательное и воспитательное значение. Образовательное значение заключается в том, что география как учебный предмет дает ученику географические знания, содействует выра-



ботке умений и навыков по данному учебному предмету. В том числе, она обеспечивает картографическую подготовку учащихся. Также школьная география содействует развитию познавательных способностей детей, их памяти, речи, наблюдательности, воображения и мышления [3, 4].

В нашей стране особенно велико значение изучения школьного курса по географии Беларуси, где учащиеся получают обширные знания о её природе, хозяйстве и населению.

Для того чтобы обеспечить лучшее усвоение знаний учащихся по данному учебному курсу, а также повторению ранее пройденного материала из других курсов географии, было разработано учебное картографическое пособие по географии Беларуси (рис. 1).

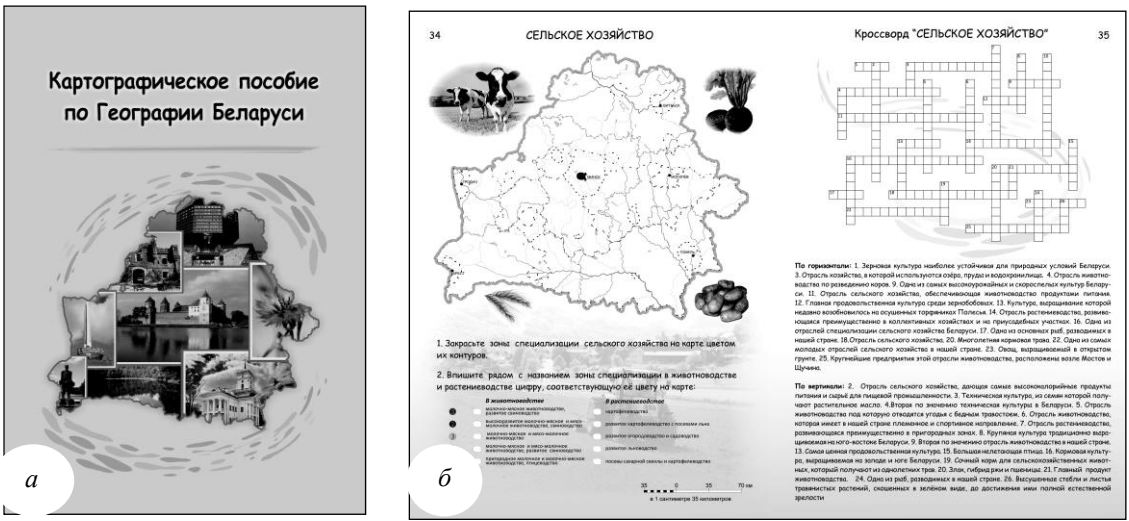


Рис. 1. Макет учебного картографического пособия по географии Беларуси:  
а – обложка, б – разворот раздела «Сельское хозяйство»

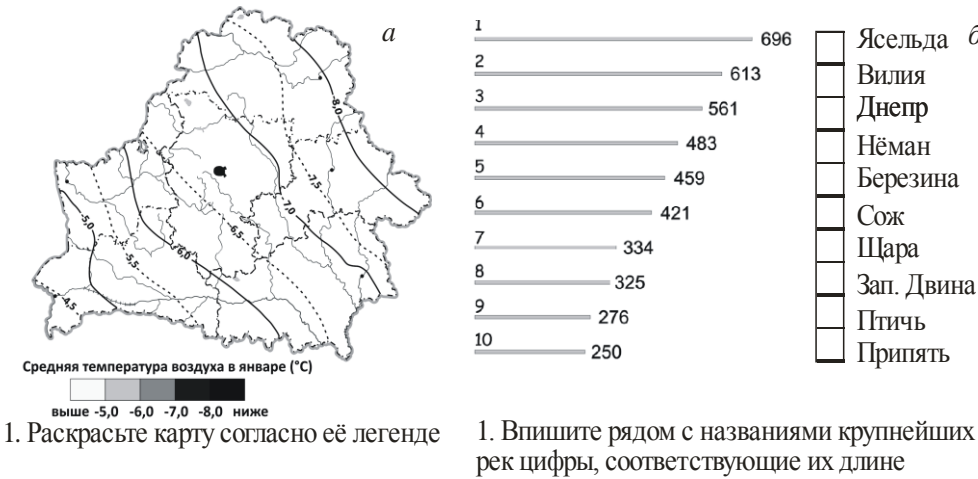


Рис. 2. Примеры заданий в картографическом пособии по географии Беларуси:  
а – работа с картой, б – ранжирование объектов по определённым показателям

Разработка структуры и содержания картографического пособия осуществлялась на основе учебника и атласа по географии Беларуси [1, 2].

Создание макета пособия, его оформление, допечатная подготовка и верстка осуществлялись автором самостоятельно в программе Corel Draw X3. Все фотографии, используемые для его оформления, были обработаны с помощью инструментария программы Corel Photo-Paint X3.

Особенностью данного картографического пособия как средства обучения является то, что оно занимает промежуточное положение между атласом и контурной картой.

Почти все разделы пособия включают в себя задания по работе с картой. Они направлены на изучение географической номенклатуры по курсу География Беларуси, а также на формирование представления о пространственном размещении географических объектов и явлений по территории нашей страны. При этом карты, размещенные на страницах пособия, несут в себе меньше информации по теме, чем соответствующие карты в атласе, но в тоже время являются более информативными, чем контурные карты (рис. 2 а).

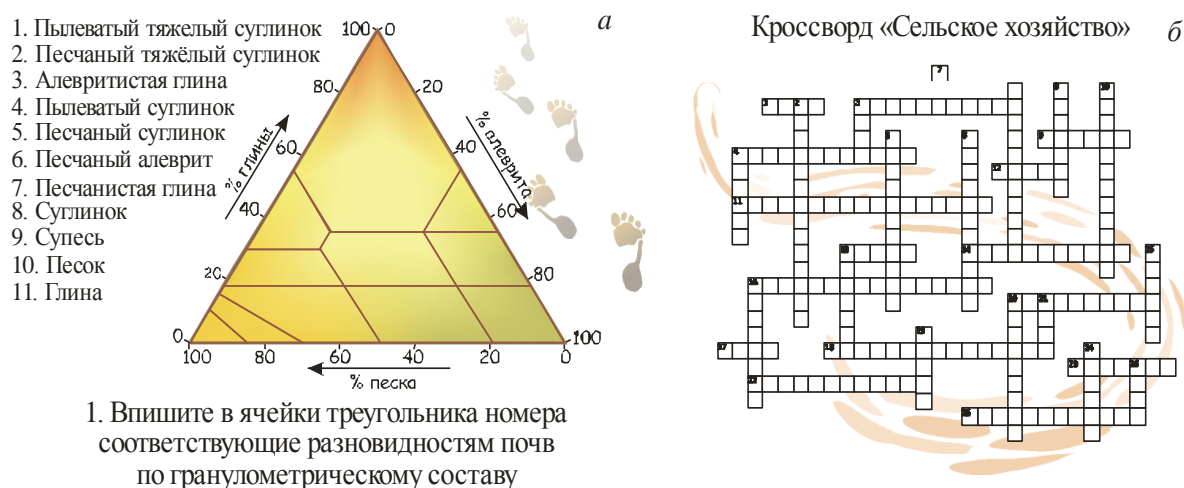


Рис. 3. Примеры заданий в картографическом пособии по географии Беларуси:  
 а – задания на логическое мышление, б – кроссворд

Также в пособии имеются и другие виды заданий:

- дополнение текста пропущенными словесными и цифровыми данными;
- нахождение соответствия между географическим объектом и его характеристикой;
- ранжирование объектов по определённым показателям (рис. 2 б);
- задания на повторение ранее пройденного материала;
- задания для расширения кругозора учащихся (рис. 3 а);
- кроссворды (рис. 3 б).

Для выполнения каждого вида заданий учащимся требуется использовать в основном только информацию из учебника и атласа по географии Беларуси. Однако следует отметить, что на выполнение некоторых заданий требуется достаточно большое количество времени и доступ к дополнительным источникам информации, поэтому работа с пособием носит преимущественно самостоятельный характер и происходит в домашних условиях. Функции учителя заключаются в разъяснении задания (что конкретно и каким образом требуется выполнить) и проверки правильности его выполнения. При необходимости преподаватель может консультировать учащихся по проблемным вопросам.

Одним из главных достоинств данного учебно-методического пособия является то, что учащимся не требуется много писать. На карты следует наносить только цифры, обозначающие географические объекты, размещенные в условии задания. Это позволяет сэкономить их силы и время, а созданные карты получаются не перегруженными информацией и легко читаются. А благодаря таким дизайнерским приемам, как выделение цветом, использование фотографий объектов, применение пиктограмм (рис. 4) и четких различий между условными знаками, учебный материал лучше усваивался и дольше сохранялся в памяти. Также с целью заинтересовать учащихся и вызвать у них желание использовать пособие в работе, для оформления его страниц были использованы яркие краски, цветные фотографии и картинки. С этой же целью подбирались и стили шрифтов, используемых в пособии.

Таким образом, при выполнении заданий по каждому из разделов пособия, учащиеся применяют знания на практике, вырабатывают умения и навыки, более глубоко осмысливают учебный материал, самостоятельно приобретают новые знания, овладевают опытом творческой деятельности,



Рис. 4. Примеры пиктограмм, используемых в картографическом пособии:

а – химическая и нефтехимическая промышленность,  
б – лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность;  
в – промышленность строительных материалов;  
г – легкая промышленность

учатся работать с различными источниками географической информации, учатся учиться. Учащиеся получают моральное удовольствие от результата своего труда. Всё это позволяет активировать процесс обучения и создать положительный эмоциональный фон, который вызывает у детей положительные эмоции и интерес к географии как учебному предмету.

### **Литература**

1. Атлас па геаграфіі Беларусі. Мн.: БГУ, 2005.
2. Брилевский М. Н., Смоляков Г.С., Яльчик Н.Т. География Беларуси, 10 кл. Учебное пособие для 10 класса общеобразовательных учреждений. Мн.: Народная асвета, 2007.
3. Буданов В. П. Карта в преподавании географии: пособие для учителей неполной средней и средней школы. М., 1938.
4. Галай И .П. Методика обучения географии. Мн., 2006.

## **ВОЗМОЖНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО РЕКУЛЬТИВАЦИИ ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНИКОВ БЕРЕЗОВСКОГО РАЙОНА**

**И. В. Джуро**

Выработанные торфяные месторождения представляют собой трансформированные коренным образом природно-техногенные системы, в которых сильно нарушен природный комплекс и баланс природно-геохимических условий, поэтому они нуждаются в рекультивации. После добычи торфа большая часть выработанных торфяников оказывается не вовлеченной в хозяйственную деятельность. Обычно они зарастают болотно-луговой растительностью и кустарниками, в местах глубоких выемок торфа превращаются во временные водоемы. Местами водная и ветровая эрозия, ускоренная минерализация торфа приводят к выходу на поверхность подстилающей песчано-супесчаной, суглинистой или сапропелевой породы. Нерационально трансформированные природные комплексы превращаются в необратимо измененные антропогенные пустоши.

Все вышеперечисленные аспекты делают актуальной тему поиска оптимальных направлений рекультивации для каждого конкретного выработанного месторождения. В данной работе рассматриваются возможные мероприятия по рекультивации торфяных выработок на примере Березовского района, где были проведены полевые исследования.

Основными направлениями использования выработанных торфяников являются вторичное заболачивание, лесопосадки, создание сельскохозяйственных угодий, водохранилищ, охотничьих хозяйств и бальнеологических центров. Выбор мероприятий использования выработанных торфяников зависит от геоморфологических условий территорий, на ко-

торых торфяники расположены; гидрологического режима; глубины выемки; мощности остаточного слоя торфа; времени, прошедшего после завершения добычи; ботанического и химического состава, органических соединений торфа. Рекомендательными критериями по выбору направлений оптимизации выработанных торфяников являются лесистость района, площади природоохранных объектов района и др.[1, с. 401].

Конечно, все вышеперечисленные критерии не представляется возможным учесть на отдельной конкретно взятой территории, большинство мероприятий по оптимизации выработанных торфяных месторождений предполагается в соответствии с ограниченным количеством учтенных критериев.

В первую очередь, при выборе направления рекультивации был рассмотрен геоморфологический аспект. Два исследованных торфяных участка «Дворище» и «Здитово» располагаются в пределах озерно-аллювиальной равнины. Далее рассматривались такие особенности данных месторождений как гидрологический режим; глубина выемки; мощность остаточного слоя торфа; время, прошедшее после завершения добычи. Все эти критерии отличались на каждом месторождении.

Торфяной участок «Дворище» располагается в пределах месторождения Чайково-Гнилинка. Высокая степень зарастания и густота растительного покрова свидетельствуют о значительном периоде заброшенности выработки. Реализуя принцип комплексности использования осушенных торфяных месторождений и учитывая значительную площадь данного торфяной участок можно предложить сочетание луговых угодий на небольшом участке и реабилитацию болота на большей части данной территории. При таком комплексном использовании выработанных торфяников пониженный участок используется под болото, на более сухом периферийном участке создаются сельскохозяйственные угодья, но приоритет отдается природоохранному направлению.

В целом, часть исследованного торфяной участок «Дворище» отвечает критериям пригодности выработанных торфяников для сельскохозяйственного использования:

- торфяная залежь не подстиляется отложениями сапропеля или мергеля (в противном случае невозможно регулировать водно-воздушный режим);
- торфяник выработан фрезерным способом и глубина выработки небольшая (не превышает 1 – 1,2 м);
- мощность придонного (защитного) слоя торфяной залежи в осушенном состоянии не менее 50 см.

Однако эффективность использования выработанных торфяников под луговые угодья низкая и это достаточно затратное направление. Затраты

связаны с необходимостью регулирования уровня грунтовых вод. Необходимым мероприятием является землевания (внесение минерального грунта). Землевание выполняет также противопожарную функцию, так как перемешанный торф с супесью становится невосприимчивым к огню. Замедляется сработка торфа, а введение в севооборот трав, выращиваемых в течение трех-четырех лет, приводит к накоплению органического вещества. Таким образом, расположение мелкозалежного торфяника «Дворище» вблизи населенного пункта (д. Хрисы), значительная мощность придонного слоя торфа и неглубокий уровень залегания грунтовых вод делает оправданным восстановление луговых угодий с целью улучшения продуктивности животноводства.

На остальной территории торфяной участок «Дворище» наиболее целесообразным мероприятием является вторичное заболачивание (реабилитация болот). Основным фактором, благоприятствующим этому направлению рекультивации, является обеспечение растений влагой. Избыточное увлажнение способствует возникновению сомкнутых растительных сообществ. Достаточно прекратить воздействие нарушающего фактора и поддерживать высокий уровень грунтовых вод. Оправданность данного способа рекультивации определяется неглубокими выемками на мелкозалежном торфянике, расположением месторождения в зоне водосбора озера Черного и неудовлетворительная экологическая ситуация (обмеление и загрязнение озера и малых рек) [2, с. 258]. Природоохранное направление использования выработанного торфяного месторождения «Дворище» предусматривает выполнение мероприятий, обеспечивающих восстановление болотообразовательного процесса, а также биосферных функций болот. Основным техническим мероприятием при повторном заболачивании выработанных торфяников является подъем уровня грунтовых вод до состояния близкого к исходному, который можно осуществить путем создания сливных плотин для поддержания установленного уровня грунтовых вод, а также сброса паводковых вод. Другие направления рекультивации для торфяного участка «Дворище» непригодны по следующим особенностям месторождения: мощность остаточного торфа значительна и прошел период в несколько лет после завершения добычи торфа. Эти особенности торфяного участка исключают возможность водохозяйственного и лесохозяйственного направления рекультивации.

Торфяной участок «Здитово» располагается в пределах месторождения Чорная Гура. Рельеф представлен плоской озерно-аллювиальной низменностью. Характер поверхности – дно плоского ровного понижения, поверхность которого обнажена в результате добычи торфа. Мощность торфяной залежи – более одного метра. Заращение естественной

растительностью составляет около 20 % площади торфяного участка, остальное пространство представлено обнаженной в результате добычи торфа поверхностью. Трудно предложить однозначно оптимальное направление использования данной выработки. Целесообразность водохозяйственного его использования подчеркивается характером рельефа (дно плоского ровного понижения), типом торфа (торф должен быть низинным, так как у него менее кислая реакция среды и выше биологическая активность) и невысокой степенью зарастания, что обусловлено недавним его выводом из эксплуатации. Для водохозяйственного использования пригодно большинство выработанных торфяников, но целесообразно использовать торфяники бессточных котловин, которые не пригодны для сельскохозяйственного и лесохозяйственного использования, так как трудно поддаются осушению и регулированию водного режима. Но в то же время, данное месторождение обладает значительной мощностью остаточной торфяной залежи, что требует дополнительных расходов для подготовки к эксплуатации. Чтобы водоем не зарастал и не заболачивался, необходима качественная подготовка ложа водоема перед затоплением. Торф засыпают песком, что должно уменьшить цветение воды. В целом, данный способ дешевле сельскохозяйственной и лесохозяйственной рекультиваций. Месторождение «Здитово» также можно использовать для формирования бальнеологических комплексов с торфяными озерами, чему способствует наличие торфяного слоя в выработке. Такая вода будет содержать полезные лечебные компоненты: органические растворимые соединения, битумы, гуминовые кислоты, лигнин, фенольные соединения [1, с. 401].

Другими новыми направлениями использования выработанных торфяных месторождений являются: выращивание быстрорастущих болотных растений для получения энергетической и технологической биомассы, выращивание ягодных культур (клюква, голубика, брусника), выращивание сфагновых мхов, лекарственных и медоносных болотных растений, создание звероводческих хозяйств и охотничьих угодий, развитие экологического туризма. Лесные окраины болота, мозаичная сеть открытых каналов и участки естественного зарастания торфяного массива могут быть природной базой для рыболовно-охотничьего производства.

#### Литература

1. *Чертко Н. К.* Создание культурных ландшафтов на антропогенно нарушенных торфяных месторождениях // Торф в решении проблем энергетики, сельского хозяйства и экологии: материалы Междунар. конф. Минск, 2006. С.400 – 401.
2. *Ракович В. А.* Реабилитация нарушенных торфяных болот в Беларуси // Болота и биосфера: материалы четвертой научной школы. Томск, 2005. С. 256 – 259.

## **ДИНАМИКА И СТРУКТУРА МИГРАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ г. МИНСКА**

**А. А. Косяков**

Большие города, как правило, более притягательны для мигрантов, чем малые, и чаще привлекают молодежь в возрасте до 30 лет. Малые города нередко получают новых жителей из прилегающих районов, тогда как крупные города, обладая большей притягивающей силой, получают их с более обширного ареала. Данная ситуация особенно характерна для города Минска.

Целью исследования был анализ факторов, сформировавших миграцию населения г. Минска и основных миграционных показателей в разрезе административных районов столицы за период 1995–2009 гг. Информационной базой исследования выступили материалы Национального статистического комитета Республики Беларусь.

Выделяют следующие группы факторов, вызывающих миграцию в столице, которые в зависимости от экономических и социальных условий подразделяются на:

- потребность в рабочей силе в различных несельскохозяйственных отраслях народного хозяйства;
- более высокий уровень заработной платы в сравнении с остальными регионами Республики Беларусь;
- психологические предпосылки, среди которых можно выделить две группы: притягательность образа жизни «большого города» и отсутствие перспективы для дальнейшего благоустройства в жизни в меньших поселениях [1].

Численность населения города Минска в период с 1995 по 2008 гг. увеличилась почти на 145 тысяч, что составило 8,7% – это изменение обусловлено в первую очередь механическим движением, а не естественным приростом. Так, численность прибывших в город Минск за последние 10 лет интенсивно увеличивалась. Для сравнения: в 1995 г. было зарегистрировано 57659 лиц приехавших в столицу, а в 2008 г. – 75881 человек. В разрезе районов города Минска по количеству иммигрантов значительный перевес имеют Московский и Фрунзенский районы, в каждом из которых численность прибывших ежегодно составляла более 10000 человек, а в 2008 г. достигла более 15000 соответственно [2]. Данный феномен обусловлен в первую очередь увеличением строительства жилищного комплекса отдельных микрорайонов (Малиновка, Кунцевщина, Каменная Горка). Следует отметить и Ленинский район, численность прибывших в котором, начиная с 2002 г., ежегодно составляла около 10000 человек, что



также связано с застройкой отдельных микрорайонов (Лошица). Для сравнения, в остальных административных районах Минска численность прибывших ежегодно не превышала 6000 человек в каждом.

Рассматривая динамику численности выбывших из города Минска, следует отметить, что она также выросла по сравнению с 1995 г. на 13000 чел., что составило 25%. Особенно значительная часть эмигрантов характерна для Советского района. Ежегодно из данного административного округа уезжало более 7000 человек, в то время как приезжало не более 6000. Главной причиной большего количества выбывших по сравнению с другими районами города, является то, что Советский р-н – один из старейших районов, большая часть которого представлена домами частного сектора. А, начиная с 2000 г., наступил период предоставления жилья в других районах Минска, лицам нуждающимся в жилье.

Если проанализировать сальдо миграции, можно выявить следующие закономерности. Положительное сальдо миграции в городе Минске ежегодно росло. Например, в 1995 г. данный показатель составлял лишь 581 человек, начиная с 2000 г. он составил 11565 человек, а в 2003 г. достигнул 15782 человек. Эта динамика отражает трехкратное увеличения сальдо в положительную сторону.

В разрезе административных единиц столицы следует отметить Фрунзенский, Ленинский и Московский районы, в них ежегодно отмечалось положительное сальдо миграции, превышающее 3000 человек. В свою очередь Заводской район ежегодно характеризовался значительным отрицательным сальдо миграции (от -300 до -1800 человек). Лишь в 2008 г. этот показатель стал положительным.

Анализ структуры иммигрантов по причинам прибытия показал, что в 1995 в их структуре преобладали лица, прибывшие к родственникам. Данная группа составляла 55,5% от всех прибывших людей. В 2008 году ситуация изменилась. В структуре прибывших в г. Минск значительную долю начали составлять лица, прибывшие на учебу (42%), а численность мигрантов, прибывших к родственникам, снизилась до 27,7%. Такие изменения в структуре иммигрантов в г. Минск можно объяснить тем, что, начиная с конца 1990-х гг., в Республике Беларусь увеличилась роль высшего образования. А в связи с тем, что в городе Минске концентрируется большая часть высших учебных заведений страны, то значительное количество людей приезжали в столицу именно для получения образования.

В структуре мигрантов г. Минска по уровню образования преобладают лица, имеющие среднее образование, что также связано с тем, что молодые люди, окончившие 11 классов школы, поступают в ВУЗы г. Минска. На втором месте среди прибывших в г. Минск по уровню об-

разования стоят лица с высшим образованием. Причем во второй половине 2000-х гг. резко увеличилась численность уезжающих из г. Минска, это связано в первую очередь с тем, что для столицы характерен переизбыток специалистов с высшим образованием, особенно экономических и юридических отраслей. Следует отметить, что большую часть миграционного объема в структуре мигрантов г. Минска составляют прибывшие лица, что отражает функциональное значение столицы Республики Беларусь, как главного культурного и образовательного центра страны [3].

В структуре мигрантов по семейному положению преобладают лица, никогда не состоявшие в браке, что связано с тем, что большая часть иммигрантов являются молодежью, которая приехала с целью получить образование. Также значительная часть молодых людей, приезжают в г. Минск в поисках супругов и создания семьи. Значительно меньше в структуре мигрантов по семейному положению составляют лица, не состоящие в брачных отношениях (разведенные, вдовых).

Рассматривая этнический состав мигрантов, следует отметить определенную закономерность. В 1995 г. в структуре мигрантов преобладали белорусы, их доля в общей численности прибывших достигала 72,4 %. Эта ситуация объясняется, тем, что вторая половина 1990-х гг. характеризуется периодом возвращения многих этнических белорусов на Родину. Также, как видно из истории миграционного движения Республики Беларусь, на протяжении многих лет на территории нашей страны преобладают в основном внутренние миграции. На втором месте по доле в общей структуре иммигрантов находятся русские, доля которых в 1995 г. составляла 17,2 %. Высокая доля русского этноса в структуре приезжих объясняется тесными межэтническими и экономическими связями, исторически существующими между нашим государством и Российской Федерацией.

В 2008 г. ситуация изменилась - завершился период реэмиграции белорусского этноса, относительно уменьшилась миграционная активность внутри нашей страны, и в структуре мигрантов стали преобладать другие национальности [4].

Минск обладает значительным интегрирующим и трансформирующим обществом потенциалом. Как правило, именно в столицу Республики Беларусь направляются иммигранты из других городов и сел, чтобы устроиться на более престижную и хорошо оплачиваемую работу, найти супруга, или супругу, а возможно начать новую жизнь. По этой причине изучение миграции в городе Минске, анализ ее масштабов является важнейшей задачей исследований. Именно благодаря комплексному социально-экономическому анализу миграционного движения столичного региона, можно разработать меры регулирования и оптимизации миграционных потоков населения.

## Литература

1. *Польский С. А.* Демографические проблемы развития Минска. Мн., 1976.
2. Фондовые материалы Национального статистического комитета Республики Беларусь.
3. Интернет-адрес: [http://www.mintrud.gov.by/ru/new\\_url\\_721068947](http://www.mintrud.gov.by/ru/new_url_721068947).
4. Интернет-адрес: <http://belstat.gov.by/homep/ru/indicators/population.php>.

## ГЕОПОЛИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СФЕРЫ ПОСТСОВЕТСКОГО ПРОСТРАНСТВА

**В. О. Кошевой**

Энергетическая политика во многом определяет интеграционные и дезинтеграционные процессы на территории бывшего СССР. Причем соотношение экономических и геостратегических интересов в каждом конкретном случае может быть различным. Зачастую то или иное государство вопреки дороговизне энергетического проекта предпочитает его более дешевым проектам по геостратегическим причинам. Существуют и обратные примеры, когда экономические интересы страны или отдельных компаний ставятся во главу угла в ущерб геостратегическим интересам. Есть и примеры проектов, когда экономические и геостратегические интересы находятся в балансе. Цель данной работы – провести геополитический анализ наиболее значимых энергетических проблем и способов их решения, показав преобладание в том или ином решении экономической либо геостратегической составляющей.

В настоящее время реализуется проект по поставке газа из Туркменистана, Узбекистана и Казахстана в Китай. Этот проект особенно выгоден Туркменистану, причем как экономически, так и геостратегически. Экспорт в Китай не только приносит деньги (как в виде прибыли, так и в виде инвестиций), но и диверсифицирует направления поставок энергоресурсов, снижая зависимость от России. Еще одним примером удачной туркменской диверсификации рынка является открытие второго газопровода в Иран. В то же время Россия сокращает импорт газа из Туркменистана с 66,1 млрд. кубометров (в 2008 г.) до 30 млрд. кубометров в год из-за невыгодности закупок, вследствие падения спроса и цен на это топливо [2]. Импорт в этом объеме можно считать экономической уступкой Туркменистану (ранее говорилось о 10,5 млрд. кубометров в год) [2]. С геостратегической точки зрения подобная энергетическая политика России по отношению к этой республике демонстрирует нынешнее значение России как важнейшего импортера и транзитера среднеазиатского сырья, но в то же время позволяет другим центрам силы увеличивать свое влияние в регионе. В первую очередь речь идет об усилении влияния Китая и использовании им постсоветского пространства в качестве своей сырье-

вой базы. Однако как китайское, так и иранское направления экспорта энергоресурсов среднеазиатскими странами с экономической точки зрения не представляют большой конкуренции для России, а потому могут считаться для нее вполне приемлемыми. Более значительную экономическую и геостратегическую опасность для России представляют американские инициативы в регионе: идеи Транскаспийского газопровода для Nabucco и газопровода «Туркменистан-Афганистан-Пакистан-Индия» (ТАПИ). Первый из этих проектов создает конкуренцию России на европейском рынке и ослабляет ее влияние в регионе, второй – противостоит совместному российско-иранскому проекту «Мир» по поставке энергоресурсов из Ирана в Индию и также снижает значение России для стран Средней Азии. Поэтому иранский и китайский векторы Туркменистана геостратегически менее опасны для России и даже уменьшают риски реализации конкурентных Nabucco и ТАПИ.

Геостратегически важным шагом России является увеличение импорта газа из Узбекистана – страны с максимальной численности населения в Средней Азии (к 2012 г. планируется увеличить до 14,5 млрд. кубометров) на фоне сокращения импорта из Туркменистана [2]. Возможности по экспорту газа не через Россию сейчас ограничены. Россия проводит политику по скупке газа из Узбекистана, Туркменистана, Казахстана, а также Азербайджана, обусловленную не столько потребностью в усилении своего влияния на эти страны, сколько стремлением снизить риски строительства газопровода Nabucco. Поэтому в этих действиях прослеживаются как экономические интересы (нежелание появления конкурента на европейском рынке), так и геостратегические (стремление сохранить существующий рисунок газотранспортной сети, подконтрольный России).

Большой интерес для России представляет транзит казахстанской нефти через свою территорию. Большая часть казахстанской нефти экспортируется через Россию, однако в планах Казахстана увеличить экспорт по нефтепроводу «Баку-Тбилиси-Джейхан» (это лоббируется и компаниями-участниками проекта БТД) и по нефтепроводу в Китай «Атасу-Алашанькоу». Геостратегически важный для России контроль над экспортом казахстанской нефти поддерживается различными способами: вливанием средств в Каспийский трубопроводный консорциум, попыткой занять часть мощностей того же нефтепровода «Атасу-Алашанькоу» (следует отметить, что Китай – один из главных соперников России за влияние в Средней Азии, недавно отказался от поставок российской нефти по этому нефтепроводу).

В настоящее время находятся на стадии подготовки к реализации такие проекты по диверсификации путей поставок газа из России в Европу (а по сути, по обходу стран-транзитеров) как «Южный поток» и «Север-

ный поток». Оба эти проекта экономически очень затратны, но геостратегически позволяют выйти на рынки энергосырья напрямую (в частности, в обход Украины), обеспечивая тем самым независимость России от транзитеров. Новое руководство Украины предлагает альтернативные варианты. Одним из основных предложений президента В. Януковича является модернизация газотранспортной системы Украины в трехстороннем формате при участии России и ЕС. Уже сейчас между Россией и Украиной заключено значительное количество важных договоров, среди которых наибольшее значение имеет договор о продлении срока пребывания Черноморского флота РФ после 2017 года и о снижении цены на газ для Украины. Интересно, что основу для подписания этого договора создало предыдущее правительство, подписавшее очень невыгодные контракты на закупку российского газа на длительный срок.

Новый уровень российско-украинских отношений повлиял и на развитие событий вокруг белорусской проблемы. Украина предоставила Беларуси только железнодорожный коридор для поставок венесуэльской нефти на белорусские предприятия. Хотя со стороны Беларуси были попытки наладить поставки не только венесуэльской, но даже азербайджанской нефти по украинскому нефтепроводу «Одесса-Броды». Белорусская проблема относится к региональным и заключается в больших потребностях республики, как в газе, так и в нефти. Республика располагает двумя крупными НПЗ (Новополоцкий НПЗ за 2008 год переработал 10,4 млн. т. нефти, Мозырский НПЗ – 10,9 млн. т.), которые оказываются менее конкурентоспособными при тех пошлинах, которые сейчас существуют [1]. Важность белорусской нефтяной проблемы в настоящее время очень высока, так как от ее решения зависит будущее Таможенного союза (Беларусь настаивает на беспошлинных поставках нефти внутри союза). В настоящее время максимальный успех белорусской стороны заключается в договоре с Россией о беспошлинной поставке нефти, необходимой для внутреннего потребления республики. Фактически вопрос транзита энергоресурсов внутри Таможенного союза является камнем преткновения этой организации из-за стремления российских компаний минимизировать возможные убытки. Именно в отношении Беларуси со стороны России в энергетической политике возобладал экономический фактор (желание минимизировать убытки и стремление приватизировать белорусские предприятия).

Важное геополитическое значение имеют проекты строительства Рогунской и Сангтудинских ГЭС в Таджикистане и Камбаратинских ГЭС в Кыргызстане. Одна из проблем заключается в том, что реки, на которых проектируется строительство ГЭС, являются транзитными, и строительство крупных плотин затрагивает интересы Казахстана и Узбекистана, ис-

пытывающих нехватку воды. Особое беспокойство по этому поводу проявил Узбекистан, для которого наличие достаточного количества поливной воды в летний период имеет ключевое значение (большая доля сельского населения, хлопковая специализация). Россия принимает участие в этих проектах в качестве ключевого инвестора, что является формой экономического возвращения её в регион. В случае отказа место России могли занять другие державы, заинтересованные в усилении своего влияния в Центральной Азии, прежде всего Китай и Иран. Иран должен был инвестировать строительство наименее мощной из трех таджикских станций – Сангтудинской ГЭС-2. Во многом благодаря большему интересу и конкуренции со стороны ведущих региональных игроков в реализации гидроэнергетических проектов дальше других удалось продвинуться Таджикистану. Наиболее удачным оказался проект Сангтудинской ГЭС-1, реализованный при стопроцентном участии российского капитала. Реализация этого проекта позволила Таджикистану не только обеспечить работой местное население, но и решить значительную часть проблем с энергоснабжением предприятий и жилого сектора. Достройку Рогунской ГЭС должен был осуществлять «Русал», планировавший использовать электроэнергию для обеспечения ею «Таджикского алюминиевого завода» («ТАЛКО»). Однако экономические интересы конкретной компании в этом проекте возобладали над геостратегическими интересами России как одного из основных партнеров стран региона и основного геополитического субъекта. Не получив в собственность «ТАЛКО» и имея разногласия с проектной мощностью станции (Таджикистан настаивал на большей мощности) от участия в этом проекте компания отказалась. Во многом это было связано и с длительными сроками окупаемости.

Геополитический фактор имеет ключевое значение в реализации Проекты строительства Камбаратинских ГЭС в Кыргызстане. Здесь переплетаются как интересы трех важнейших геополитических субъектов – России, КНР и США, так и интересы крупных компаний и местной политической элиты. В перспективе вырабатываемая этими ГЭС электроэнергия могла быть использована для экспорта в соседние страны, а также для снабжения алюминиевого завода, который планирует построить все тот же «Русал». Россия обязалась предоставить Кыргызстану ряд кредитов на строительство Камбаратинской ГЭС-1. Во многом эти деньги были нужны киргизскому руководству в преддверии назначенных на июнь президентских выборов, победу на которых одержал К. Бакиев. Фактический отказ Бишкека ликвидировать американскую военную базу в Манасе, а также стремление заменить РФ в ряде ключевых проектов, в частности, Камбаратинской ГЭС-1, Китаем вполне могли стать причиной отка-

за в выделении третьего, самого крупного кредита в размере 1,7 млрд. долл., предназначенного для строительства этой ГЭС.

Китайские интересы в Кыргызстане продвигало «Центральное агентство по развитию, инвестициям и инновациям» (возглавлял сын К. Бакиева), которое вело переговоры по участию китайской стороны в достройке Камбаратинской ГЭС-2 и модернизации Бишкекской ТЭЦ. Поэтому недавние события в Кыргызстане стоит рассматривать и с позиций во многом китайского вектора, имевшего большое значение в «многовекторной» политике руководства этой республики.

Таким образом, основным энергетическим игроком на постсоветском пространстве является Россия, которая в зависимости от своих интересов принимает решение либо в пользу обеспечения геостратегической безопасности, либо в пользу экономической выгоды. Остальные страны СНГ, в большинстве случаев руководствуются экономическими интересами, так как от положения их энергетической сферы во многом зависит их выживание как независимых и экономически самодостаточных государств.

#### **Литература**

1. Интернет-адрес: [http://news.date.bs/economics\\_94712.html](http://news.date.bs/economics_94712.html).
2. Интернет-адрес: [http://www.stoletie.ru/geopolitika/gazprom\\_turkmenii\\_ne\\_tovarishh\\_2009-12-02.htm](http://www.stoletie.ru/geopolitika/gazprom_turkmenii_ne_tovarishh_2009-12-02.htm).

## **ТНК ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ**

**А. В. Краковецкий**

Электроника как сплав современной науки, техники и технологии приобрела сегодня исключительное значение. Практически нет сферы человеческой деятельности, где бы продукция электронной промышленности не нашла применения. Это закономерность процесса развития мировой науки, техники и технологии, чьи революционные открытия преобразили всю производственную и непроизводственную деятельность, изменили уклад жизни людей в течение короткого исторического срока. Поэтому вторжение электроники в нашу жизнь вполне сопоставимо по своему значению с овладением и использованием человеком огня, пара, электричества, энергии атома [1, 2].

Электронная промышленность – самая наукоемкая отрасль современного машиностроения. Это предопределило тесное сотрудничество между научно-исследовательскими учреждениями и производственными предприятиями. В условиях рыночной конкуренции потребовалось резко сократить временной цикл от разработки изделия до его выпуска. Это

удалось осуществить в технополисах (типа знаменитой Силиконовой долины в США). В них практически нет территориального (а значит, и временного) разрыва между научными исследованиями и производством. Тем самым достигнута высокая экономическая эффективность всего цикла – от момента появления новой идеи до массового выпуска товара. Это стало новым элементом формирующейся географии отрасли [1, 3].

В современном мире под контролем ТНК находится около 80% производимой продукции электроники. Только крупным корпорациям под силу вести дорогостоящие НИОКР, финансировать десятки и сотни венчурных подразделений.

Первые корпорации радио- и электротехнической промышленности с зарождающейся электроникой сформировались в США и Западной Европе. Однако, к середине 70-х гг. прошлого века страны, традиционно поставлявшие на мировой рынок электротехнику, радиотехнику и электронику, стали постепенно уступать странам Тихоокеанского региона. Япония, купив лицензии у ведущих фирм «IBM», «General Electric», «Westinghouse Electric» (США), «Royal Philips Electronics» (Нидерланды), «Siemens», «AEG-Telefunken» (Германия), начала стремительно наращивать объем производства сначала радиоаппаратуры, затем все более сложной и надежной продукции. К 1990 г. в мировом производстве микросхем 50 % принадлежало 6 фирмам Японии, 3-м американским и только одной европейской. Японские «NEC», «Toshiba» и «Hitachi» по объемам производства и темпам наращивания выпуска электронных изделий, в том числе стандартных элементов машинной памяти, опережают США. К борьбе за рынки сбыта электронной продукции подключились новые индустриальные страны – Республика Корея, о. Тайвань, Малайзия, Китай и др [3, 4].

В современном мире выделяется 3 центра электронной промышленности: Североамериканский (страны НАФТА), Азиатский (Япония + некоторые страны НИС) и Европейский (главным образом высокоразвитые страны Западной Европы).

Из трех центров, лидирующим в области электроники и смежных отраслей, после Второй Мировой Войны остается Североамериканский, представленный в первую очередь в лице США. Этот центр характеризуется наиболее развитой и высокодифференцированной структурой производства. Корпорации США лидируют по производству информационно-технологических сервисов и суперкомпьютеров («International Business Machines», «Accenture»), компьютеров и офисного оборудования («Hewlett-Packard», «Dell», «Apple»), программного обеспечения («Microsoft», «Oracle»). В производстве полупроводников и других электронных компонентов выделяются компании США («Intel») и Канады



(«Onex»). Развитие электронной промышленности США (да и мировой) тесно увязывается с развитием телекоммуникационных сетей, средств видеотехники и мультимедиа, отражает современные процессы роста наукоемкости производства. Производством электронных средств связи заняты ведущие фирмы США – «Motorola», «Cirso Systems». Для США характерна максимальная наукоемкость электронной промышленности и скорость внедрения инноваций в производство, что связано с распространением технополисов (Калифорния, «Силиконовая долина»).

Другим важным центром электронной промышленности является Япония. Для страны «восходящего солнца» не характерна столь разветвленная структура отрасли по сравнению с США, но Япония характеризуется максимальным количеством электронной продукции на душу населения в мире и наибольшим числом филиалов своих фирм. Япония лидирует наравне с США в производстве компьютеров и офисного оборудования («Fujitsu», «NEC», «Canon»), бытовой электроники («Toshiba», «Sony», «Panasonic», «Sharp» и др.), суперкомпьютеров («Hitachi»). Кроме Японии в азиатском регионе высоким уровнем развития электронной промышленности выделяется Тайвань («Asustek Computer», «Quanta Computer» – офисное оборудование, «Hon Hai Precision Industry» – бытовая электроника, компоненты), Республика Корея («Samsung Electronics», «LG» – бытовая электроника), Сингапур («Flextronics International» – полупроводники и компоненты).

Последним центром являются высокоразвитые страны Западной Европы. Здесь наблюдается максимальная специализация в производстве электронной продукции. Бытовую электронику и электротехническое оборудование производят корпорации Германии («Siemens»), Франции («Schneider Electric»), Нидерландов («Royal Philips Electronics»), Швейцарии («Tyco International»). В производстве сетей и телекоммуникаций выделяются компании Финляндии («Nokia»), Швеции («L.M. Ericsson»), Франции («Alcatel-Lucent») и других стран.

Мировой экономический кризис не обошел стороной и корпорации электронной промышленности. Для компаний Азии и Европы, в общем, характерен за 2009 г. отрицательный баланс прибыли, для Американских – как отрицательный, так и положительный. Максимальная прибыль характерна для ТНК, производящих суперкомпьютеры и программное обеспечение. Это говорит о высокой потребности современных стран и НИИ в сверхмощных компьютерах и качественном программном обеспечении, т.е. в аппаратуре и информационных ресурсах, связанных с отраслями новейших технологий [5].

На протяжении многих лет, примерно с 60-70-х годов, в нашей республике создавались предприятия точного машиностроения. В начале своего

существования эти предприятия работали в первую очередь на «оборонку» и АРКП, участвовали в создании ракетно-ядерного щита СССР (МПО им. Ленина (современный «БЕЛВАР» – производство систем наведения для межконтинентальных ракет, «Интеграл» – создание электронных блоков для наземного комплекса многофазовой космической системы «Буря – Энергия», «Монолит» – производство электронных компонентов для ВВС и наземных сил). Кроме непосредственно военной электроники эти предприятия создавали и гражданскую радиотехнику (интегральные схемы, ЭВМ и т.д.), при этом существовали и предприятия специализирующиеся в создании главным образом «мирной» электроники, например Минский завод «Планар» – оптико-механическое, сборочное и контрольно-измерительное оборудование [5]. Полноценному формированию электронной отрасли в нашей республики помешали экономический и политические события конца 20 в: распад СССР, кризис середины 90-х. Современная электронная промышленность Беларуси остается еще мало конкурентоспособной на мировом рынке. Полноценное развитие данной отрасли, по мнению автора, не возможно без привлечения иностранных инвестиций. При этом у Беларуси, с ее еще довольно низким показателем ВВП на душу населения по сравнению с соседними странами ЕС, как это не парадоксально, имеются неплохие шансы привлечь «электронные» ТНК на свою территорию, главным образом используя сочетание высокого уровня образования в стране с относительной заниженной оплатой труда (по сравнению даже с Восточной Европой) на будущих предприятиях электронной отрасли; то есть пойти по пути Индии. При этом какая именно подотрасль электроники будет выбрана («софтовая» или «хардовая») становится уже не столь важно, так как Беларусь может развивать как ту, так и другую, хотя автор этой статьи склоняется все же к так называемой «железной» («хардовой») электронике, поскольку для этой подотрасли имеется уже значительная база.

Таким образом, Беларуси необходимо как можно быстрее привлекать в свою экономику средний и крупный бизнес электронной сферы, пока потенциальные ТНК-инвесторы не выбрали для своих ПИИ наших соседей по СНГ.

### Литература

1. Липец Ю. Г., Пуляркин В. А., Шлихтер С. Б. География мирового хозяйства: Учеб. Пособие для студентов. М., 1999.
2. Мироненко Н. С., Фомичев П. Ю., Титов К. В. Транснационализация мирового хозяйства. Пространственные структуры мирового хозяйства. М., 1999.
3. Родионова И. А. Макрогеография промышленности мира. Пособие для студентов вузов. М., 2000.

4. *Томашевич А. В.* География мирового хозяйства: курс лекций. В трех частях. – Мн., 2001, 2002.
5. Интернет-адрес: <http://money.cnn.com/magazines/fortune/global500/2009/industries> (Официальный сервер CNN Money, рейтинг «Глобал 500» журнала «Fortune»).
6. Интернет-адрес: [http://www.minprom.gov.by/organizacii?OKPO=54&Otr\\_ID=14770](http://www.minprom.gov.by/organizacii?OKPO=54&Otr_ID=14770) (Мин. промышленности РБ, электронная промышленность, перечень предприятий).

## **ПРОСТРАНСТВЕННО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА г. ЗАСЛАВЛЯ**

**А. С. Молокин**

Исследование функциональной структуры города, ее пространственной дифференциации и диспропорции – одна из актуальных проблем стоящая перед науками социального цикла в 21 веке. Особая значимость проблемы подчеркивается ее глубоким междисциплинарным характером. Городское планирование, архитектура, география городов, социология городской среды – вот лишь главные сферы знаний, в рамках которых возможно проведение исследования проблемы.

Отличительная особенность малых городов Беларуси от своих «коллег» в Западной Европе или США – наличие социалистического периода в истории развития [1]. Поскольку этот период предшествует современному этапу развития, а главное – совпал с общемировой урбанистической волной, социалистический пласт пространственной организации часто выступает преобладающим и определяющим. С другой стороны, развитие в Беларуси элементов рыночного регулирования видоизменяет социалистический субстрат: новые факторы способствуют возникновению новой пространственной организации зон города.

Целью работы явилось исследование функциональной структуры в контексте пространственного размещения и формирование «функционального портрета» города по материалам функционального зонирования, предложенного Генеральным планом развития города на 2010–2020 гг.

В философско-методологическом подтексте исследования был положен метод факторной экологии [2], подразумевающий рассмотрение городской среды, как совокупность дискретных элементарных единиц, которые обладают схожим набором характеристик. Применение этого метода позволяет обосновать как исследования, проводившиеся на уровне отдельных факторов (например, плотности автомобильных коммуникационных систем), так и интегрального анализа пространственной дифференциации группы факторов (модели желательности).

Для определения пространственных отношений между функциональными зонами и основными типами объектов городской застройки, а так-

же для создания модели желательности проживания населения, в данной работе было опробовано моделирование средствами ГИС [3].

Так, для определения распределения концентрации объектов были созданы карты плотностей (промышленной и жилищной застроек, автодорог). Для этого использовалась процедура Kernel Density (пакет Spatial Analyst, ArcInfo). Исходные данные представляли собой точки (для зданий) и линии (для коммуникаций). Атрибутивные параметры объектов были подобраны так, чтобы наилучшим образом отображать реальный удельный вес в общей системе.

Для составления моделей желательности использовался набор моделей, отражающих пространственную дифференциацию функциональной зональной составляющей. После непосредственного отбора необходимых исходных моделей производилась их переклассификация (процедура Reclassify), которая заключалась в присвоении зонам модели новых коэффициентов-весов в будущей конечной модели. Например, для гипотетической элементарной ячейки территории города в модели желательности проживания важно расположение вдали от промышленных объектов. Таким образом, соответствующая ей ячейка в модели расстояния от промышленной застройки после переклассификации получала вес от -10, если находилась в пределах 50 м от объекта индустрии, и 0, если лежала за пределами 500 м зоны до ближайшего промышленного здания.

Результирующая модель представляет собой сумму коэффициентов всех соотносимых ячеек, которая и является итогом оценки интегральной желательности каждой элементарной составляющей. Объединенные, они представляют модель желательности всей территории города. Этот последний шаг соединения данных исходных моделей происходит в рамках выполнения процедуры Raster Calculator, где задаются не только входные модели, но и отношения между ними.

При визуальном анализе функциональных зон [4] выявлены некоторые особенности функциональной дифференциации городской среды. Во-первых, выделяется относительное отсутствие компактности городских структур, что происходит ввиду развития Заславля вдоль основных транспортных магистралей. Во-вторых, наличие обширных незастроенных территорий внутри городской черты делает некоторые районы города территориально разобщенными и слабосвязанными. В-третьих, прослеживается четкая граница, в виде железнодорожных путей Минск–Молодечно, внутренней дифференциации территории на западную и восточную, где первая представляет собой существующую жилую основу города, а вторая – исторический и административный центр города. В-четвертых, гидрография городской и примыкающей среды – канал Вилейско–Минской водной системы, Заславское водохранилище, притоки

Свислочи и вторичные карьерные озера – несет в себе как положительные аспекты (рекреация, водоресурсный потенциал), так и отрицательный (сложные сопряженные геологогидрологические условия, пространственные ограничения, накладываемые на развитие территории).

Для определения степени схожести планировочных районов г. Заславля и выявления пространственной дифференциации более высокого ранга был использован метод кластерного анализа [5], который реализовывался в программном статистическом пакете PASW (бывший SPSS).

Первым шагом стала проверка на мультиколленеарность, где базовым набором данных послужили показатели земельного и жилищного фондов, их структура в разрезе районов, а также основные показатели людности и плотности. 12 показателей территориальной дифференциации были призваны сгладить ошибку, которая неизбежно велика при таком малом количестве случаев (пять районов). Для снижения статистических погрешностей использовались показатели корреляционной зависимости со значимостью  $p \geq 0,95$ .

Таким образом, при корреляционном анализе мы получили формальное математическое доказательство, как очевидных зависимостей, так и скрытых:

- усадебная застройка является основной жилищной, ее плотность влияет на плотность населения.
- усадебная жилая застройка выступает основой для освоения новых перспективных территорий (изъятия их из специальной рекреационной зоны).
- рекреационная зона развивается пропорционально площади территории района.

В целях проведения кластерного анализа сильно коррелирующие показатели были отброшены, а в окончательный набор вошли: численность населения, площади жилой усадебной и многоквартирной, рекреационной и рекреационной специальной, общественной зон.

Согласно рассчитанной иерархической кластерной модели наибольшее подобие демонстрируют третий и четвертый планировочные районы города (левый берег р. Свислочь). С ними относительно сходен второй планировочный, которые вместе образуют восточную часть города (относительно деления по железнодорожной магистрали). Второй крупный кластер формируют первый и пятый планировочные районы (западная часть города). Таким образом, в Заславле формально определены границы (одновременно осевые зоны развития) первого порядка – железная дорога Минск–Молодечно, второго порядка – главный канал Вилейско–Минской водной системы. Полученный результат формально обосновывает умозрительное заключение по возможной группировке планировочных районов.

После проведенного многоаспектного исследования пространственно-функциональной структуры г. Заславля, можно говорить о возможных

направлениях ее оптимизации. Во-первых, это развитие рекреационной зоны, ее благоустройства. Согласно ГСКТО РБ, Заславль относится к малым городам туристско-рекреационного и природоохранного, функционального назначения, однако текущее состояние городской среды не соответствует заявленному статусу. Во-вторых, Заславль характеризуется экстенсивным расширением городской черты, в то же время, низкая эффективность использования городских земель (значительная доля неосвоенных территорий, особенно в наиболее «желательной» центральной части) обосновывает необходимость интенсивного развития застройки внутри границ города. В-третьих, преобладание низкой плотности населения (существенная доля усадебной жилищной застройки) не дает экономических предпосылок активному развитию общественной зоны. Другой причиной этой диспропорции можно назвать сильное притяжение Минска, обладающего общереспубликанской концентрацией сферы услуг. Возможный выход – инвестиции в туристскую отрасль, основанную на богатом историческом субстрате.

#### Литература

1. *Matczak A.* Studia nad strukturą funkcjonalno-przestrzenną miasta. Łydz, 1999.
2. *Рукавишников В.О.* Население города. М., 1980.
3. *Ormsby, T. et al.* Getting to know ArcGIS desktop. Redlands, California, 2004.
4. УП «БелНИИПрогнозостроительства». Проект Генерального плана развития г. Заславля на 2010–2020 гг., Мн., 2008.
5. *Крамер Д.* Математическая обработка данных в социальных науках: современные методы. М., 2007.

### ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТА МИНСКА

**А. С. Родькин, И. А. Телеш**

Анализ климатических условий г. Минска выполнялся на основе осредненных суточных данных о температуре воздуха, относительной влажности воздуха, парциальном давлении водяного пара, скорости ветра, атмосферном давлении, атмосферных осадках, общей облачности, туманах за 1984–2008 годы (табл. 1).

Физико-географическое положение Минска определяет его климат как умеренно континентальный, переходный от морского к континентальному. Месячные значения суммарной солнечной радиации в г. Минске имеют плавный годовой ход, с минимумом в декабре и максимумом в июне. Суммарная радиация в июне примерно в 15 раз больше, чем в декабре [1]. Это соответствует годовому ходу высоты солнца и облачности, продолжительности светлого времени. В ноябре-декабре наблюдается максимум облачности (рис. 1).

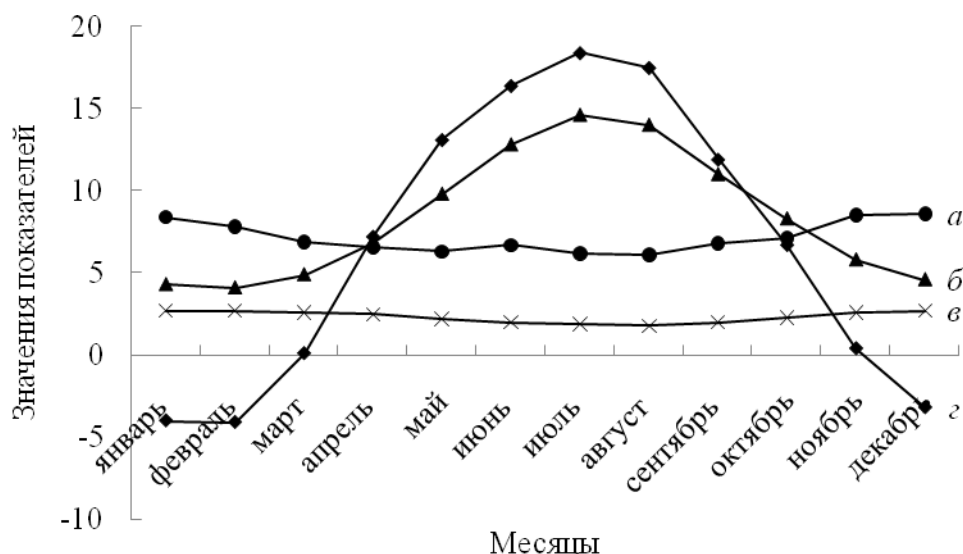


Рис. 1. Годовой ход климатических показателей по г. Минску

*а* – облачность, баллы; *б* – упругость водяного пара, мб;

*в* – скорость ветра, м/с; *г* – температура, °C

Приход солнечной радиации является важнейшим фактором, определяющим температуру воздуха ( $t^{\circ}\text{C}$ ), которая играет важную роль в формировании комфортных метеоусловий. За исследуемый период наиболее тёплыми были 1989 (среднегодовая температура  $8^{\circ}\text{C}$ ) и 2000, 2007, 2008 ( $7,9^{\circ}\text{C}$ ) годы (таблица). А наиболее холодными оказались 1987 ( $-4,3^{\circ}\text{C}$ ) и 1985 ( $-4,7^{\circ}\text{C}$ ).

Наибольшие значения относительной влажности (*f*) зафиксированы в 1989 (79,9%), 1985 и 1991 (79,1%), 1998 (79,2%) годах. Межгодовые вариации данного климатического показателя незначительны; динамика устойчива, резких колебаний за исследуемый период не наблюдается. Минимальные значения относительной влажности отмечены в 1999 – 73,6% и 2002 – 72,6%.

Анализ метеорологических данных представленных в таблице указывает на взаимосвязь температуры воздуха и парциальное давление водяного пара. Максимальные значения упругости водяного пара (*e*) наблюдались в 1989 (9,2 мб) и 2007 (8,9 мб) годах. Минимум парциального давления отмечался в 1987 – 7,7 мб, 1993 – 7,9 мб, 1996 – 8 мб.

Изменение скорости ветра (*v*) за изучаемый период, показывает совершенно ясную и чётко прослеживаемую тенденцию к снижению его скорости (таблица). Поэтому вполне закономерно, что его максимальные значения соответствуют началу (1984 год – 2,9 м/с, 1986 и 1987 – 2,8 м/с), а минимумы (2006 и 2007 – 1,9 м/с, 2005 и 2008 – 2,0 м/с) окончанию изучаемого периода.

Таблица 1

## Среднегодовые климатические показатели

Год	Климатические показатели						
	t °C	f, %	e, мб	v, м/с	p, гПа	Ос, мм	Об, баллы
1984	6	78,2	8,3	2,9	989,4	656,3	7,2
1985	4,7	79,1	8,1	2,7	986,9	706,9	7,2
1986	5,9	77,7	8,2	2,8	988,1	610,4	6,9
1987	4,3	78,6	7,7	2,8	988,3	726	6,6
1988	6,3	78,9	8,7	2,7	986,5	665,2	6,8
1989	8	79,9	9,2	2,6	987,2	746,4	7,1
1990	7,7	78,3	8,6	2,7	986,3	766,4	7,4
1991	6,9	79,1	8,7	2,5	989	541,3	7,3
1992	7,1	75,5	8	2,6	987,4	568,8	6,9
1993	5,9	77,3	7,9	2,6	988,3	725,3	7,2
1994	6,6	77,1	8,4	2,2	987	747,7	7,4
1995	7	76,7	8,5	2,2	986,9	558,2	7,1
1996	5,6	76,4	8	2,1	989,7	672,3	7,1
1997	6,3	77,5	8,4	2,3	986,6	693,7	7,4
1998	6,3	79,2	8,6	2,2	986,8	965,4	7,4
1998	6,3	79,2	8,6	2,2	986,8	965,4	7,4
1999	7,8	73,6	8,4	2,1	987,6	575,2	7,1
2000	7,9	77,1	8,7	2,2	987,8	588,3	7,3
2001	7	77,1	8,8	2,2	987,4	714,1	7,2
2002	7,7	72,6	8,3	2,3	988,8	587,8	6,9
2003	6,5	77,5	8,4	2,2	989,4	615	7,2
2004	6,6	77,8	8,4	2,1	987,6	809,4	7,3
2005	6,8	77,3	8,5	2	989,2	765,8	7,1
2006	6,9	77,4	8,7	1,9	989,2	727,7	6,9
2007	7,9	76,9	8,9	1,9	987,2	585,9	7,4
2008	7,9	78,5	8,8	2	987,9	684,3	7,6
Среднее	6,7	77,4	8,4	2,4	987,9	680,2	7,2

Ветер, как правило, умеренный и слабый со скоростью несколько метров в секунду. В целом за год в столице преобладают ветры западных направлений, повторяемость их около 46%; наименьшая повторяемость у ветров северо-восточной четверти горизонта.

В тёплую половину года ветер чаще всего северо-западный и западный. Для зимних месяцев характерны ветры юго-западной части горизонта. Они встречаются в 3–4 раза чаще северных румбов. Розы ветров и преобладающее направление ветра следует учитывать при размещении промышленных объектов и планировании новых жилых районов.



В летние месяцы увеличивается повторяемость малых скоростей ветра и резко уменьшается число случаев с большой скоростью. Так, в Минске повторяемость скорости ветра 0–1 м/с увеличивается от 10–16% в зимнее время до 25–32% в летние. В тёплое полугодие наибольшая повторяемость приходится на скорости 2–3 м/с.

К числу неблагоприятных погодных условий относятся инверсии температуры, характеризующие особенности стратификации нижнего слоя атмосферы. При инверсии температура воздуха в слое, прилегающем к земле или приподнятом над землёй, с высотой не уменьшается, а увеличивается. Инверсии являются задерживающими слоями, препятствующими переносу примесей и очищению нижних слоёв атмосферы.

Число дней с приземными и приподнятыми инверсиями (высота нижней границы не более 250 м) составляет около 20 дней в месяц. В зимние месяцы преобладают дни с приподнятой инверсией, а в остальную часть года с приземной. Наблюдаются инверсии большей частью в ночное время. Повторяемость их в дневное время невелика. Ночные инверсии менее опасны, т.к. основное накопление загрязняющих веществ происходит во второй половине дня.

Наибольшие значения атмосферного давления (р) отмечены в 1996 – 989,7 гПа, 1984 и 2003 – 989,4 гПа. Минимальные значения зафиксированы в 1990 (986,3 гПа), 1997 (986,6 гПа). По сравнению с отдельными месяцами, в частности, январём, межгодовые колебания незначительны, а вариабельность значений низка.

Наиболее «дождливыми» оказались 1998 (965 мм) и 2004 (809,4 мм) года. А наименьшее количество осадков (Ос) выпало в 1991 – 541,3 мм, 1992 – 568,8 мм, 1995 – 558,2 мм.

По количеству выпадающих осадков Минск и его окрестности относятся к зоне достаточного увлажнения. Годовое количество осадков в городе составляет 680 мм. Месячные суммы осадков имеют чётко выраженный годовой ход с минимумом в феврале и максимумом в июле.

Максимум облачности (Об) отмечался в 2008 году и составил 7,6 баллов. В отдельные годы зафиксировано превышение среднего показателя (медианы) – в 1990, 1994, 1997, 1998, 2007 гг. – 7,4 балла. Минимум – 1987 – 6,6 баллов и 1988 год – 6,8 баллов. В ряде случаев наблюдалось понижение значения до 6,9 балла – в 1986, 1992, 2002, 2006 гг. Минимум облачности приходится на май и летние месяцы, максимальные же значения отмечены в ноябре-декабре.

Проведенные исследования позволяют заключить, что в течение года над Минском, как и над всей Беларусью, преобладают потоки воздушных масс западных направлений и большинство барических образований

перемещается с запада на восток. Западные циклоны приносят с собой влажный умеренный воздух Атлантики. В холодную половину года они вызывают потепление. Летом морской умеренный воздух обуславливает относительно прохладную с дождями погоду. Поступление воздушных масс с континента приводит в Минске зимой к сильным холодам, летом – к жаркой сухой погоде.

Чередование воздушных масс различного происхождения создаёт характерный для Минска неустойчивый тип погоды. При этом происходит обычная смена погоды без осадков и с осадками. Большая часть осадков в Минске выпадает в тёплую половину года. Это связано в основном с перемещением циклонов и фронтальными процессами.

Сезоны года отличаются следующими особенностями. Зима в Минске достаточно мягкая, с неустойчивой, в основном пасмурной погодой, частыми оттепелями, продолжительными, хотя и не обильными осадками. Лето жаркое, в основном с ясной погодой, отмечается повышенная влажность и уменьшение скорости ветра. Весной и осенью преобладают холодные фронты, прохождение которых сопровождается усилением ветра, выпадением ливневых, кратковременных, иногда сильных дождей с грозами и градом.

#### **Литература**

1. Климат Беларуси / Под ред. В. Ф. Логинова. Мн., 1996.

## **ВОЗМОЖНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ НАБОРА ГЕОСЕРВИСОВ НА ОСНОВЕ НАВИГАЦИОННОЙ КАРТЫ.**

**А. А. Сорокин**

В последние десятилетия во всем мире наблюдается стремительное развитие информационных, а также геоинформационных технологий, что приводит к резкому увеличению количества, качества и улучшению структуризации пространственных данных. Это обстоятельство побуждает к созданию и развитию геоинформационных систем, способных значительно повысить эффективность создания, обработки, актуализации, хранения, передачи и предоставления пространственных данных. Одной из таких систем является инфраструктура пространственных данных (ИПД) [1].

Возникновение самой идеи инфраструктуры пространственных данных обусловлено одним важным фактом – сменой географической парадигмы. Если раньше под термином «география» подразумевались «карты», то теперь «география» – это в первую очередь «базы данных» (!) [2].

ИПД представляет собой фундамент, который позволяет унифицировать и подготовить информацию для дальнейшей обработки. Наиболее известные примеры формальных реализаций ИПД-проектов, как правило, ограничены национальным уровнем. Уникальной с этой точки является ИПД ЕС INSPIRE. Инициатива, во многом следующая принципам НИПД США сейчас фактически становится идеологическим фундаментом для разработки инфраструктур пространственных данных во всем мире.

Унификация подходов способствует интероперабельности данных, для этих целей разрабатываются стандарты пространственных данных для представления в сети Internet и стандарты метаданных (данных о пространственных данных).

Разработка ИПД, стандартизация данных, формирование метаданных служат достаточной основой для создания геопорталов различного пространственного уровня, что, в свою очередь способствует развитию, информатизации географии и смежных наук.

Отмеченные тенденции определяют формирование нового поколения средств и методов работы с геопространственной информацией, отличающееся от предыдущих (карт и ГИС) тремя основными признаками:

- использованием географических, а не картографических, систем координат;
- применением растрового, а не векторного представления географической информации в качестве основного;
- использованием открытых гипертекстовых форматов представления геоданных.

В 2010 году начат первый этап создания национального геопортала Республики Беларусь (создание геоинформационного портала для интеграции информационных ресурсов ЗИС, ЕГРНИ и др. для обеспечения доступа для обновления (изменения, размещения) и получения пространственной информации). Геопортал будет являться основой для реализации концепции инфраструктуры пространственных данных (ИПД) и в дальнейшем будет развиваться в геоинформационную систему Республики Беларусь (ГИС РБ) [3].

Основной целью работы была подготовка авторского проекта навигационной карты с элементами роутинга на территорию города Кобрин, а также организация сайта с набором геосервисов.

Алгоритм создания навигационной карты в условиях недостаточности исходной информации (отсутствие ЗИС) предполагал организацию основных работ в ПО GPSMapEdit – бесплатной версии программы, представляющей собой несколько урезанную геоинформационную систему с уникальным классификатором.

Исходными данными при создании навигационной карты г. Кобрин являлись:

1. Материалы ДДЗ:

- цифровые ортофотопланы с координатной сеткой и зарамочным оформлением на территорию города 1:10 000;
- доступные для скачивания данные дистанционного зондирования в Интернете (космоснимки Google и DigitalGlob на территорию г. Кобрин).

2. Картографический материал:

- материалы переписи населения – адресные (контурные) планы на территорию г. Кобрин 1:2 000;
- исходная цифровая карта масштаба 1:100 000;
- топокарта масштаба 1:100 000;
- план г. Кобрин масштаба 1:14 000;
- доступные для скачивания картографические данные из Интернета (OpenStreetMap).

3. Материалы полевых обследований:

- треки GPS-навигаторов;
- POI (пункты интереса) [4].

Подготовленный экземпляр представляет собой наиболее точную и актуальную карту на территорию города.

С развитием географической составляющей сети Internet появилась возможность пусть и не создать личный геопортал, но интегрировать разработки медийных гигантов (Yandex, Google) в структуру любого web-сайта. В дополнение к этому доступно размещение для скачивания любых созданных картографических материалов открытого доступа, что, в теории, позволит стимулировать обмен опытом обычных пользователей с целью структурирования наработок в единую технологическую систему.

Разработчикам сайтов предоставляется возможность свободно размещать окно карты Google Maps и Google Earth на своих страницах и осуществлять некоторую ее настройку.

Для подключения к сервису в текст страницы добавляются строки регистрации, включающие полученный уникальный код. Этот фрагмент кода в виде скрипта располагается между тэгов заголовка страницы `<head></head>`. Основной скрипт, необходимый для создания карты, должен располагаться сразу после скрипта инициализации, также между тэгов `<head></head>`. Стандартные элементы управления, такие как масштабная линейка, навигационная панель, переключение вида карты могут присутствовать или отсутствовать на карте. В скрипт, размещаемый на странице сайта необходимо также добавить параметры навигации, определить размеры окна карты, элементы загрузки/выгрузки данных [5].

Yandex.Карты – аналогично Google Maps: получаем ключ, указываем центр, добавляем навигацию, определяем размеры окна карты.

Некоторые сложности могут возникнуть с добавлением окна OpenStreetMap, из-за необходимости подбора параметра bbox html-кода для отображения территории Беларуси, однако, возможны другие варианты для интеграции программного кода. Остальное – аналогично Google Maps и Yandex.Карты [6].

На сайте (<http://by-isti.narod2.ru>) предоставлен авторский проект навигационной карты части территории города Витебска, навигационная карта города Кобрин без адресной и дорожной информации. Размещены бесплатные версии программ GPSMapEdit и SAS.Planet. Также доступны материалы, использованные при создании навигационной карты города Витебска.

Набор размещенных данных позволяет оперативно создать картографический материал любого уровня сложности, используя вспомогательное ПО для загрузки исходных данных, методический материал для работы в GPSMapEdit, пример использования бесплатных данных для создания карты высокой точности.

Таким образом, на сайте реализованы следующие геосервисы:

- поисковый сервис (позволяющий искать пространственные данные (ПД) и геосервисы на основе соответствующих метаданных и отображать содержание метаданных);
- сервис визуализации (предоставляющие, как минимум, возможности просмотра данных, навигации по изображениям, их скроллинга, масштабирования и графического оверлея данных, а также отображения легенд карт и соответствующей информации, записанной в метаданных);
- сервис для скачивания информации (позволяет копировать наборы пространственных данных или их фрагменты);
- сервисы для вызова других сервисов наборов пространственных данных [7].

На основе созданного геопортала возможно размещение авторских теоретических и практических наработок для дальнейшего обмена опытом.

### Литература

1. Концепция создания и развития Инфраструктуры пространственных данных Республики Беларусь. Мн: Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь, 2009.
2. *Спиридонов С. В.* Перспективы развития инфраструктуры пространственных данных Республики Беларусь. Мн., 2008.
3. Создание геоинформационного портала для интеграции информационных ресурсов ЗИС, ЕГРНИ и др. для обеспечения доступа для обновления (изменения, раз-

- мещения) и получения пространственной информации (1 этап): ТЭО / БелНИЦзем, рук. *А.С. Помелов*. Мн., 2010.
4. Создание навигационной карты: отчет о НИР / БелНИЦзем, рук. *И.П. Самсоненко*. Мн., 2010.
  5. Интернет-адрес: <http://code.google.com/intl/ru-RU>.
  6. Интернет-адрес: [http://wiki.openstreetmap.org/wiki/OpenLayers\\_Simple\\_Example](http://wiki.openstreetmap.org/wiki/OpenLayers_Simple_Example).
  7. Поваренная книга глобальной инфраструктуры пространственных данных – GSDI, 2004.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРИМАССОВЫХ КОНВЕКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ МЕЗОМАСШТАБНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОГОДЫ**

**Т. Г. Табальчук**

Конвекция играет крайне важную роль в формировании погодных условий на территории Беларуси. Атмосферная конвекция не только осуществляет вертикальный перенос тепла, водяного пара и количества движения, но и является основной причиной многих опасных погодных явлений: ливневые дожди, град, грозы.

Поскольку конвективные потоки, особенно в устойчивой атмосфере, имеют локальный характер, для их изучения должны применяться методы мезо- и микропрогнозирования. В данной работе рассмотрена возможность воспроизведения развития конвективных потоков в рамках программы WRF, новейшей версии программной системы мезомасштабного моделирования погоды, развиваемой с 1970-х гг. Система включает в себя саму мезомасштабную модель и некоторое количество внешних вспомогательных программных модулей, предназначенных для подготовки входных данных для модели и интерпретации полученных результатов. В числе основных преимуществ: работа с вложенными друг в друга расчётными сетками с изменяющимся шагом, негидростатическая динамика, возможность проведения 4-мерного усвоения данных, высокая степень переносимости программного пакета на различные компьютерные платформы. Следует также отметить широкий выбор параметризации физических процессов.

В негидростатической модели дополнительной переменной является вертикальная компонента скорости ветра. Вертикальное ускорение вносит свой вклад в вертикальный градиент давления, вследствие чего гидростатическое равновесие более не имеет места.

Вертикальные координаты в модели определяются  $p_o$  – давлением базового состояния, то есть представляют собой гидростатические, не зависящие от времени координаты. В модели WRF используется следующая рельефу местности вертикальная координата: крайний верхний уровень

представляет собой плоскую поверхность и является началом вертикальной координаты, а нижние уровни сетки следуют рельефу исследуемой области. Промежуточные уровни с высотой становятся всё более плоскими по мере того как давление базового состояния, уменьшаясь, приближается к давлению на выбранной верхней границе атмосферной модели.

Для определения модельных уровней используется безразмерная величина  $\sigma$ :

$$\sigma = \frac{\rho_o - \rho_{top}}{\rho_{so} - \rho_{top}} = \frac{\rho_o(z) - \rho_{top}}{\rho_{so}(x, y) - \rho_{top}} = \frac{\rho_o(z) - \rho_{top}}{\rho^x(x, y)}$$

где  $\rho_o = \rho_o(z)$  – давление базового состояния,  $\rho_{top}$  – давление верхней границы атмосферной модели,  $\rho_{so}(x, y)$  – давление базового состояния на земной поверхности, а

$$\rho^x(x, y) = \rho_{so}(x, y) - \rho_{top}$$

Таким образом, из независимости базового состояния от времени следует, что высота каждого узла расчётной сетки модели остается постоянной.

В ходе работы было проведено мезопрогнозирование конкретной погодной ситуации, имевшей место 30 мая 1999 г. в Минске («трагедия на Немиге»). Для формирования начальных и граничных условий с сайта NOAA [3] были адаптированы данные реанализа глобальной циркуляции за 27 – 30 мая 1999 г., а также в архиве Белгидрометцентра получены данные о местном распределении метеорологических величин за этот же период. В результате был произведен расчет полей температуры, давления, скорости и направления ветра, а также получены аэрологические диаграммы на вышеуказанные даты с помощью модели Microphysics, входящей в состав программы.

Полученные в результате расчета данные показывают неустойчивость в атмосфере, нарастающую изо дня в день и достигшую своего пика 30 мая.

27 мая 1999 г. кривая стратификации отразила вполне устойчивую атмосферу. Была небольшая неустойчивость в приземном слое, однако инверсия в слое 850–700 гПа мешала образованию конвективной облачности.

Однако в развитии 28 и 29 мая было видно, что происходило сглаживание инверсии в верхних слоях атмосферы. Несмотря на это, облачность все еще не образовывалась: мешала инверсия в приземном слое.

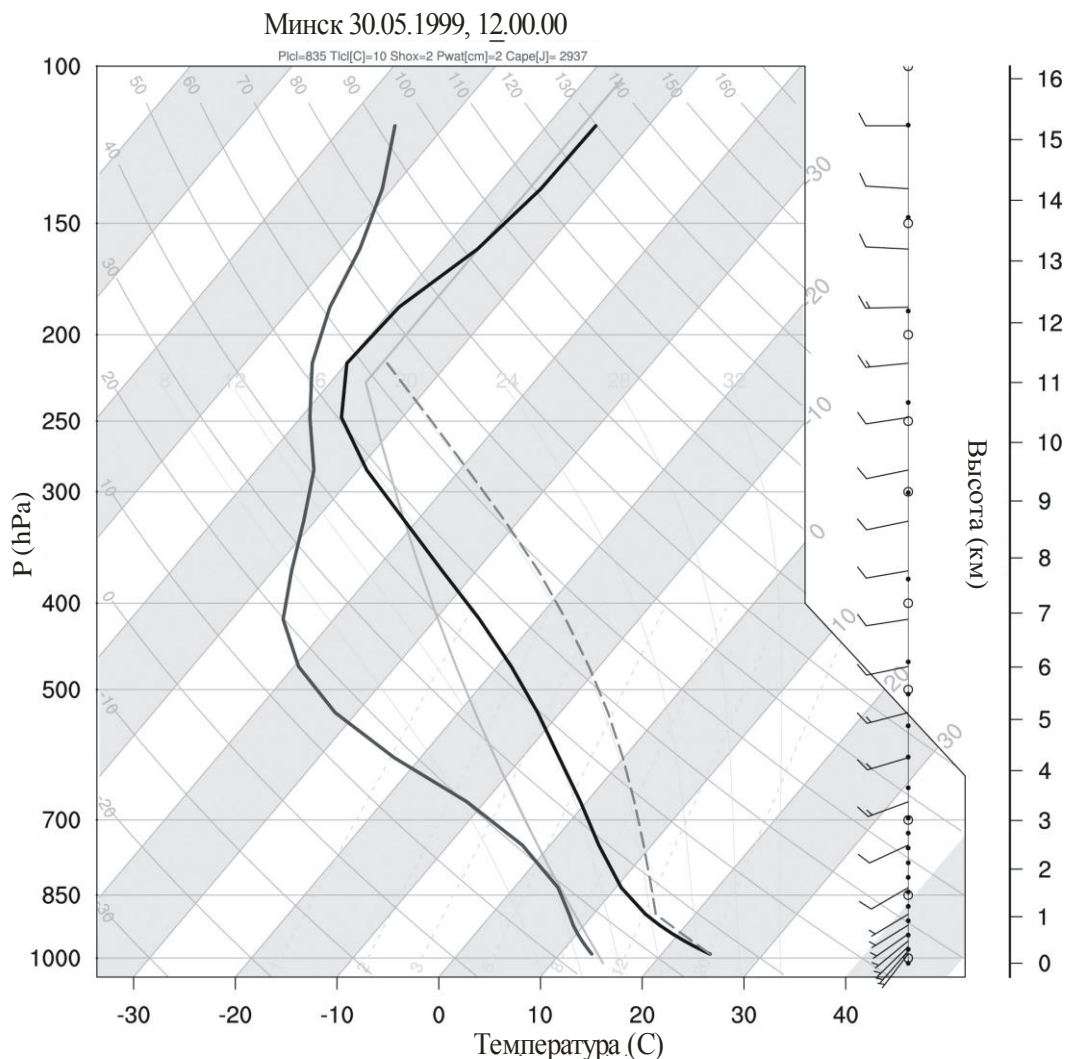


Рис. 1. Аэрологическая диаграмма на 30 мая 1999 г.  
 Черным цветом показана кривая стратификации, серым – депеграмма,  
 пунктиром – кривая состояния

30 же мая ситуация в атмосфере изменилась: неустойчивость достигла своего максимума, а инверсия в приземном слое исчезла, создав благоприятные условия для развития конвекции. Легко увидеть, что на уровне 850 гПа депеграмма (кривая точек росы) приблизилась к кривой стратификации, создав благоприятные условия для конденсации: с этого уровня могло начаться развитие облачности.

Результаты моделирования за 27–30 мая 1999 г. показывают, что данная ситуация явилась вполне закономерным следствием ранее происходивших в атмосфере процессов. Изначально, на протяжении 27, 28 и 29 мая стратификация атмосферы была такова, что в верхней части наблюдалась неустойчивость, однако из-за инверсии в приземном слое конвекция не получала развития. В то же время вследствие бароклинно-



сти атмосферы накапливалась ее неустойчивость. В данном случае (рис. 2) изотермы отклонены влево от изобар и вектор скорости ветра с увеличением высоты поворачивает влево, приближаясь по направлению к изотермам средней температуры слоя. При этом общий перенос происходит из области холода в область тепла, т. е. имеет место адвекция холода. В результате стратификация тропосферы становится со временем более неустойчивой, [1, с. 193; 2, с. 573]. Таким образом, когда 30 мая приземная инверсия была преодолена, началась конвекция, приведшая к образованию мощной кучево-дождевой облачности и последующему выпадению ливневых осадков.

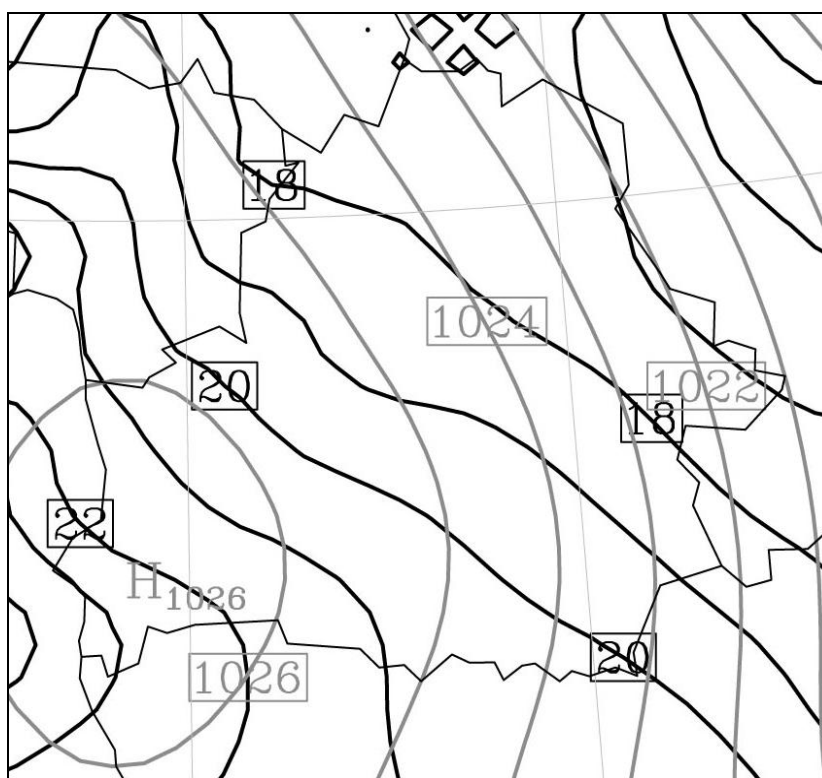


Рис. 2. Распределение температуры и давления 28 мая 1999 г.  
Черным цветом показаны изотермы, серым – изобары

Можно заметить, что ситуации, подобные той, что случилась на Немиге, вполне поддаются прогнозированию. В случае применения мезопрогнозирования имеется возможность предсказывать возникновение локальной неустойчивости в результате процессов адвекции в антициклоне.

### Литература

1. Гандин Л. С., Лайхтман А. Л., Матвеев Л. М., Юдин М. И. Основы динамической метеорологии. Гидрометеиздат, 1955 г.
2. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Гидрометеиздат, 1976.
3. Интернет-адрес: <http://esrl.noaa.gov/psd/>.

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕЛЕ- И ИНТЕРНЕТ МАРКЕТИНГА ПРИ ВЫВЕДЕНИИ НА РЫНОК НОВОГО ПРОДУКТА**

**А. И. Анищенко**

Д. Рокфеллер «Умение общаться с людьми – это товар, который можно купить так же, как мы покупаем чай или кофе, и за этот товар я готов заплатить больше чем за что-либо другое». Данный лозунг особенно актуален для одной из разновидностей продаж – телемаркетинге. Телемаркетинг – продажа товаров, услуг с помощью средств телекоммуникации. При телемаркетинге производятся звонки потенциальным клиентам по базе данных, с целью увеличения объема продаж и привлечения новых клиентов. Данная услуга эффективнее рекламы, т. к. в данном случае происходит прямой контакт с клиентом, он сразу может получить ответы на все вопросы. [1]

К главным преимуществам данного типа взаимодействия с заказчиком можно отнести: контакт на прямую, четко известный эффект и возможность использования для любого типа товаров и услуг.

Интернет-маркетинг (англ. internet marketing) – это практика использования всех аспектов традиционного маркетинга в интернете, затрагивающая основные элементы маркетинг-микса: цена, продукт, место продаж и продвижение. Основная цель – получение максимального эффекта от потенциальной аудитории сайта. [2]

Интернет-маркетинг в первую очередь предоставляет потребителю возможность получить информацию о товарах. Любой потенциальный потребитель может, используя интернет, получить информацию о товаре, а также купить его.

Для вывода на рынок продукта – OrtrixCRM, компания ООО «Ortrix» использовала два типа маркетинг-продвижения: Интернет маркетинг в виде почтовой рассылки и теле-маркетинг с использованием «холодных звонков», проводимых сотрудниками фирмы. Такая рекламная компания проводилась в течение года 2009-2010.

Электронная реклама по принципу почтовой рассылки предполагает формирование адресов потенциальных покупателей и отправку им частных сообщений по каналам электронной почты (e-mail). По данным Hewlett-Packard, число обращений к электронной почте для предоставления информации (в том числе рекламного характера) превышает число телефонных запросов [3].

Для проведения Интернет маркетинга ООО «Ортрикс» был использован тематический список рассылки. Эффективность воздействия проводимой рекламной кампании характеризуется числом охвата пользователей сети, яркостью и глубиной впечатления, оставляемого в памяти человека, степенью привлечения внимания.

Обратим внимание на данные по сайту компании (<http://ortrix.by>) до и после рассылки: Посещаемость сайта до рассылки: 4–5 уникальных посетителей в день. Была произведена рассылка в течение 2 дней на 19 000 почтовых адресов. Посещаемость сайта в первый день рассылки: 2 498 уникальных посетителей. Посещаемость сайта во второй день рассылки: 1 980 уникальных посетителей. В течении последующей недели посещаемость плавно снижалась и в итоге пришла к показателям до рассылки.

Телемаркетинг дает не столь массовые показатели результативности, зато дает большую отдачу. Рассмотрим одну неделю работы специалиста. В день специалист по продажам делает порядка 25 звонков потенциальным клиентам. Из 25 контактов порядка 4 дают заинтересованных клиентов. Заинтересованные клиенты активно посещают сайт компании и интересуются ее продукцией.

Сравним телемаркетинг и интернет рассылку, как инструменты. Почтовая рассылка дала огромный приток клиентов, но большинство клиентов никогда больше не зайдут на этот сайт. По сути, при рассылке охват максимальный, но клиенты практически не контролируемые. При телемаркетинге же напротив, мы получаем небольшой охват клиентов, но очень четкое взаимодействие с каждым.

Сравним стоимость использования исследуемых инструментов маркетинга.

Рассылка является одним из самых дешевых каналов привлечения клиентов. Все затраты складываются из четырех факторов.

Первый фактор затрат, это сбор адресов компаний, потенциально заинтересованных в потреблении услуг компании. Адреса собирались отдельно выделенным сотрудником в течение 25 рабочих дней. Поиск осуществлялся по сайтам потенциальных клиентов.

Второй фактор – создание текста письма. На создание хорошего текста письма был потрачен 1 день работы маркетолога.

Третий фактор пожалуй самый легкий. Это отправка корреспонденции адресатам. На отправку всей корреспонденции было потрачено 2 дня.

Последний фактор - это прием и обработка звонков от заинтересованных клиентов.

Таким образом, на всю рекламную рассылку были следующие затраты:

Зарплата маркетолога – в течении 28 рабочих дней, что составляет 1 600 000 белорусских рублей.

Оклад специалиста по продажам в течении 5 рабочих дней – 120 000 белорусских рублей.

Остальные затраты состоят из затрат на аренду, телефонную связь, интернет, канцелярские товары и составляют 375 000 белорусских рублей.

В сумме затраты составили 2 095 000 белорусских рубля, а стоимость привлечения одного заинтересованного клиента равна  $2\,095\,000 / 512 = 4092$  белорусских рубля.

Телемаркетинг является так же одним из самых дешевых вариантов коммуникации с клиентом. Подсчитаем затраты для этого инструмента продвижения товаров и услуг. Компания Ортрикс проводила телемаркетинг своими силами.

Заработная плата (оклад) специалиста по продажам в неделю составляет 120 000 рублей.

Аренда офиса, телефонная связь, интернет, канцелярские товары 115 000 рублей.

Таким образом затраты на телемаркетинг одного специалиста в неделю составляет 235 000 рублей.

Таким образом, примерное количество привлеченных клиентов составляет  $4 * 5 = 20$  заинтересованных клиентов в неделю.

Стоимость привлечения одного заинтересованного клиента равна  $235\,000 / 20 = 11\,750$  рублей.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что для Компания Ортрикс телемаркетинг является более дорогим каналом продаж.

Для чего же рассчитывать стоимость привлечения одного клиента? Всплывают такие факторы как, например, максимальная цена клиента, при которой привлечение остается выгодным.

Важным фактором повышения эффективности рекламы и возможности увеличения стоимости привлечения является правильный выбор целевой аудитории и маркетинг.

Сравним управляемость каждым из исследуемых инструментов маркетинга.

При телемаркетинге управляемость потенциальными клиентами очень высока, она практически приближается к управляемости личных контактов. Контакт с компанией уже осуществляется через конкретного человека, к которому ищется свой подход. Заинтересованный клиент попадает в CRM систему компании Ортрикс и дальше с ним ведется тщательная работа по дальнейшему развитию взаимоотношений.

При рассылке же напротив, получается очень низкая управляемость. Клиент заходит на сайт и, если он чего-то не понял, он теряется навсегда. Есть небольшая доля клиентов, которые звонят, чтоб задать вопрос, и тогда они попадают в базу компании и становятся полностью управляемыми.

Рекомендации для Компании Ортрикс.

Нужно постараться взять самое хорошее из каждого метода продвижения товара. Рассылка дает очень большой охват аудитории, но не дает плотного взаимодействия с клиентом. То есть, мы находим много клиентов которым интересен наш продукт, но не получаем с ними достаточной коммуникации. Эти клиенты регистрируются на сайте.

Телемаркетинг наоборот дает низкий охват аудитории и плотные коммуникации с клиентом.

Соответственно работать в дальнейшем следующим способом: изначально проводится рассылка, которая дает зарегистрированных посетителей у нас на сайте, после этого проводить телемаркетинг, осуществляя контакт с теми клиентами, которые зарегистрировались при рассылке.

Такая схема позволит максимально повысить взаимодействие с клиентом и охват территории.

### **Литература**

1. <http://www.gran-call.ru/> - официальный сайт call-центра «Гран»
2. Байков В. Д. Интернет: поиск информации и продвижение сайтов.//«БХВ-Санкт-Петербург», 2000 С. 288
3. Адамов С. Методы измерения эффективности рекламы // <http://grebennikon.ru/> - электронная библиотека издательского дома «Гребенников»
4. [www.hp.com](http://www.hp.com) – официальный сайт компании Hewlett-Packard
5. [www.ortrix.by](http://www.ortrix.by) – сайт компании «Ортрикс»

## **ПРОБЛЕМЫ ДИВЕРСИФИКАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

**А. С. Боярин**

Энергия – это величайшее благо и двигатель прогресса всего человечества. Благодаря ей человек имеет такие дары цивилизации как электричество, тепло, свет, радио, телевидение, наконец, Интернет. Мы потребляем энергию в огромных количествах, зачастую нерационально и впустую. В это же время истощение нефтяных и газовых ресурсов, и в результате повышение цены на углеводородное топливо, заставляет людей думать, как сократить расходы на отопление и электричества, найти альтернативные источники энергии.

Беларусь не располагает собственными топливно-энергетическими ресурсами в достаточной мере для удовлетворения своих нужд и является импортёром энергоносителей. В связи с этим для Беларуси чрезвычайно важно включать в топливно-энергетический баланс вторичные

энергоресурсы и возобновляемые источники энергии, тем более что республика обладает достаточным потенциалом для их развития.

Согласно «Директиве № 3 Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г.» в РБ планируется обеспечение в 2012 году не менее 25 % объема производства электрической и тепловой энергии за счет использования местных видов топлива, вторичных энергетических ресурсов и альтернативных источников энергии. [1]

Альтернативная энергетика обладает следующими преимуществами: доступность ресурсов; неограниченные объемы ресурсов; ресурсы бесплатны.

Наиболее перспективными для Республики Беларусь считаются такие направления как ветряная энергетика, солнечная энергетика, биоэнергетика, а также использование местных видов топлива.

Основным направлением альтернативной энергетики на данный момент является ветроэнергетика.

Беларусь обладает значительным ветроэнергетическим потенциалом. Он оценивается в 1600 МВт. Годовая выработка электроэнергии может достигать 6,5 млрд. кВт/ч.

По ветропотенциалу Республика Беларусь соответствует современным требованиям коммерческой целесообразности внедрения ветротехники и приближается к уровню Польши и других стран Восточной Европы, где ветроэнергетика эффективно развивается в последние годы. Весомую долю эта отрасль занимает в Германии, Дании, Голландии и Испании и составляет около 15-17% всей энергетики этих стран.

Ветрогенератор средней и большой мощности может быть использован для автономного электроснабжения удаленных поселков, военных баз, туристических баз, гостиничных комплексов, рыбозаводов и т. д.

Основными проблемами использования ветрогенераторов являются неуправляемость и изменчивость во времени энергетического источника, что делает практически невозможным бесперебойную постоянную подачу энергии, а также дальнейшая утилизация отработанных генераторов [4].

Другим направлением является солнечная или гелиоэнергетика. Беларусь является далеко не самой солнечной страной, однако гелиоэнергетика имеет весьма ясную перспективу в качестве дополнительной отрасли. Фотоэлектрические модули, превращающие свет в электроэнергию, пригодятся в солнечные летние и зимние дни, когда преобладают слабые ветра.

По метеорологическим данным в Республике Беларусь в среднем 250 дней в году пасмурных, 85 с переменной облачностью и 30 ясных. Нынешняя стоимость солнечной электроэнергии равняется 4,5 долл. за 1 Вт мощности и, как результат, цена 1кВт·ч электроэнергии в 6 раз дороже энергии, полученной традиционным путем сжигания топлива.

Высокая стоимость солнечных коллекторов, а также сопутствующие затраты на строительные-монтажные работы, конструкции, кабели, системы управления, технических средств для обслуживания, инфраструктуру в настоящее время накладывают сильные ограничения на развитие геотермальной энергетики в Беларуси.

Основная ставка на данный момент делается на использование местных видов топлива, такие как уголь, торф, древесина. Доля местных видов топлива в энергобалансе Беларуси в 2009 году достигла 20,1%, согласно программным задачам, в 2012 году она должна увеличиться до 25%. Данный вид энергетики требует наименьших затрат по сравнению с остальными, поскольку опирается на уже готовую инфраструктуру и имеется непосредственная близость энергетического источника к конечному потребителю.

Строительство мини-ТЭЦ является комплексным решением проблем энергообеспечения производства либо жилого сектора, энергосбережения и уменьшения энергозатрат в единице готовой продукции. Современные котлы имеют до 80% КПД и могут стать решением проблемы на местном уровне.

Однако данное направление является скорее переходным этапом, так как базируется на использовании исчерпаемых видах топлива и не является решением экологического вопроса.

В данном случае биоэнергетика имеет намного больший потенциал и перспективы развития. Особенно актуальным она является для лесоперерабатывающей промышленности и сельскохозяйственной отрасли. Биогазовая отрасль производит не один конечный продукт, а целый спектр дорогих и важных продуктов и без ущерба экологии.

Электричество от генераторов может быть транспортировано к общественной сети электричества или может использоваться для фермерских нужд. Кроме того, система охлаждения двигателя может быть использована в качестве источника полезного тепла.

Вторичным продуктом биоэнергетики являются чистые высококачественные органические удобрения. Применение биогазовых установок позволит существенно улучшить экологическую обстановку вблизи крупных аграрных и животноводческих комплексов, а также позволит снизить расходы на энергоресурсы, так как вместо импорта дорогих энергоносителей можно использовать сырье, которое пропадает.

Владельцем собственной генерации на основе биогаза может быть крупный животноводческий комплекс, городской водоканал, предприятия пищевой промышленности, крупные землевладельцы.

Основными недостатками данного направления являются ограниченность по мощности и необходимость использования посевных площадей для технических культур.

Альтернативная энергетика имеет огромные перспективы, но переход на возобновляемые источники энергии требует больших инвестиций. Например, 1 МВт мощности ветрогенератора обходится примерно в 1 млн. евро. Найти такие инвестиции, а они окупаются в течение 6-10 лет, безусловно, нелегко. Оптимальным решением было бы привлечение иностранных инвестиций.

Многие европейские инвесторы заинтересованы в развитии альтернативной энергетики в РБ. На данный момент ведутся тесные переговоры с рядом компаний, которые имеют мировой опыт в разработке, введению в эксплуатацию и обслуживании различного вида энергетических установок:

- энергетическая инженерно - консалтинговая компания «ЭНЭКА» – компания, занимающаяся разработкой проектов в энергетике и экологии (Республика Беларусь);
- инженерно - консалтинговая компания «4energia» (Эстония);
- северная экологическая финансовая корпорация «НЕФКО» (Дания, Исландия, Норвегия, Финляндия и Швеция);
- холдинговая компания «Vardar» (Норвегия). [3]

Согласно постановлению Совета Министров Республики Беларусь от 10 февраля 2010 г. № 169 «Об инвестиционной деятельности в Республике Беларусь в 2010 году» на территории республики запланировано разработка, а также введение в эксплуатацию новых энергетических комплексов, как с привлечением иностранных инвестиций, так и с использованием средств из госбюджета. [2] Помимо привлечения инвестиций альтернативной энергетике нужен системный подход, заключающийся в грамотной разработке проектов и программ энергосбережения. Ввиду непостоянства во времени и пространстве использование возобновляемых источников энергии требует тщательного расчета и подбора оборудования, определенных навыков и знаний. Только в таком случае ресурсы будут эффективно работать на Вас, а не Вы – на ресурсы.

### Литература

1. Программный документ «Директива № 3 Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г.» Официальный сайт Совета Министров РБ [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.government.by/>
2. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 10 февраля 2010 г. №169 «Об инвестиционной деятельности в Республике Беларусь в 2010 году» Официальный сайт Совета Министров РБ [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.government.by/>
3. Официальный сайт Инвестиционной группы «Baltic Energy Group». [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.energybaltic.eu/>
4. Интернет-адрес: <http://www.newsby.org/by/2010/01/16/text12815.htm>



# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CRM-ТЕХНОЛОГИЙ В БИЗНЕСЕ

Ю. Ю. Гордеев

## 1. Общая характеристика CRM-технологий

Целью научной работы является исследование процесса внедрения и использования CRM-технологий.

Задачи работы: определить предпосылки к внедрению CRM-технологий, выявить их преимущества, недостатки и эффективность использования, а также разработать рекомендации по оптимизации работы с CRM-технологиями в организации «ABC».

Объект и предмет исследования – результаты хозяйственной деятельности организации в рамках CRM-стратегии, которая определяет взаимодействие с клиентами во всех организационных аспектах.

Под CRM понимают идеологию, стратегию взаимоотношения с клиентами, стратегию бизнеса, которая позволяет навести порядок внутри компании в сторону обслуживания клиентов, а также программное обеспечение, которое автоматизирует процессы взаимоотношений с ними [1, с.4].

- CRM – стратегия основана на выполнении следующих условий:
- наличие единого хранилища информации и системы;
- синхронизированность управления;
- постоянный анализ информации о клиентах и принятие соответствующих организационных решений [2, с.4].
- CRM-технологии имеют массу плюсов, таких как:
- отслеживание истории взаимоотношений с каждым потенциальным и действующим клиентом;
- легкое планирование рабочего процесса;
- возможность осуществления контроля и внесение корректировок на всех стадиях работы сотрудников.
- Несмотря на все свои плюсы, CRM-стратегия и сопутствующее программное обеспечение имеют и минусы, такие как:
- противодействие и неосведомленность сотрудников;
- трудности выбора CRM-приложения и комплекса сопутствующих услуг за приемлемую цену [4, с.4].

## 2. Предпосылки к использованию CRM-ТЕХНОЛОГИЙ

Внедрение и использование CRM-технологий в организации «ABC» необходимо по следующим причинам:

- значительный спектр оказываемых услуг в сфере телекоммуникаций;
- достаточно короткий процесс подписания контракта, большое число контрактов/клиентов;
- конкурентный рынок обуславливает необходимость проводить ценовой анализ и привлекать клиентов от конкурентов, необходима автоматизация процесса взаимоотношений с клиентами;
- масштабные по региону охвата бизнес-процессы;
- необходимость разработки регламентов работы с клиентами;
- необходимо определить недостатки текущих процессов продаж, чтобы выявить, в каком именно месте сотрудники допускают ошибки;
- создать единые стандарты, которым должна отвечать работа сотрудников организации;
- решить проблему коммуникации в организации, вызванную переходом к линейно-функциональной структуре: повысить уровень коммуникаций и сотрудничества между отделами, повысить исполнительность сотрудников;
- проанализировать текущую финансовую и кадровую политику, принять меры к изменению политик в случае необходимости.
- собрать и обработать данные по всем рынкам для проведения клиентской и маркетинговой политики;
- мотивировать персонал.

### 3. Анализ результатов использования crm-технологий

В процессе исследования проведен анализ структуры затрат на CRM-технологии (рис. 1).

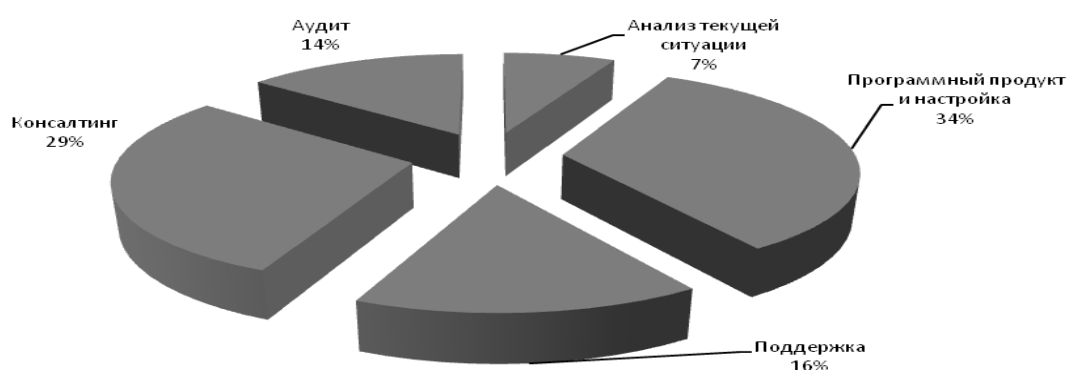


Рис. 1. Структура затрат на CRM-технологии

При внедрении CRM как программного продукта, автоматизации процессов на его основе, организация получает прямые эффекты категории

снижения затрат и косвенные эффекты, получаемые через поддержку существующей бизнес-модели. Для определения эффективности внедрения CRM-технологий использованы методики Return on Investment, Total Cost of Ownership и инструмент качественного анализ показателей на основе Balanced Scorecard.

В ходе использования CRM-технологий были достигнуты следующие качественные результаты:

- повышение эффективности и прозрачности управления;
- повышение качества и скорости обслуживания клиентов;
- повышение имиджа организации и лояльности клиентов;
- улучшение информационной поддержки бизнес-процессов;
- ускорение вывода на рынок новых услуг;

Экономическая эффективность использования CRM-технологий характеризуется следующими показателями:

- затраты в 1-й год использования – в среднем 24800 \$ ежемесячно, в последующие 2 года – 3940 \$ ежемесячно;
- рациональное использование рабочего времени дает итоговую экономию 41450 \$ в год, что увеличивает прибыль на 16320 \$ в год;
- дополнительная прибыль от привлечения новых и удержания существующих клиентов – около 180000 \$ в год (прирост 6–7% ежемесячно);
- итоги сегментации клиентов: 72% прибыли приносит сегмент мелких клиентов (50% от всех клиентов), 20% прибыли – сегмент средних клиентов (7% от всех клиентов);
- динамика ROI: 1 год – 53,8%, 2 год – 99,15%, 3 год – 138,2%; окупаемость CRM наступает на третий год использования (рис. 2).

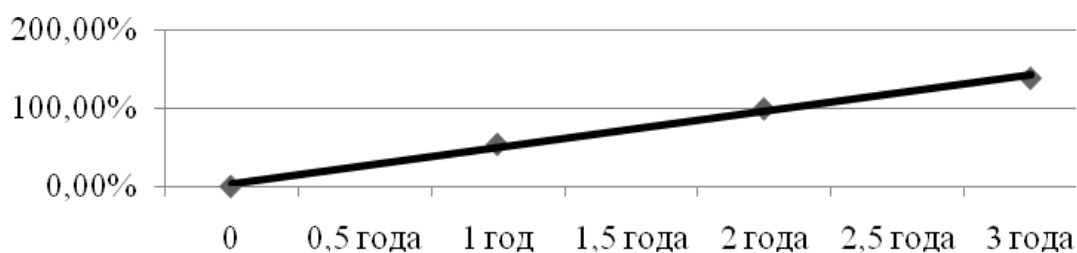


Рис. 2. График изменения ROI

#### 4. Рекомендации по оптимизации работы с CRM

Проанализировав полученные результаты, в организации «АВС» рекомендовано произвести следующие изменения:

- организовать обслуживание заявок абонентов по сети Интернет;

- создать мотивационную программу для каждого сотрудника (установление премии в размере 7% от продаж повлечет увеличение ФЗП на 5,4%, что приведет к росту продаж на 9%);
- создать проектные группы (сокращение времени реакции организации на возникающие проблемы до 30% и возможность создания дополнительно до 5 проектов в год увеличит прибыль на 96000\$ в год);
- тестовая эксплуатация услуг (сумма недополученной прибыли может составлять до 8280\$ в месяц, однако это позволит привлечь на 15–20% больше потенциальных клиентов и увеличить прибыль до 21000\$ в месяц);
- целевые предложения (привлечение новых клиентов и удержание существующих позволит увеличить прибыль на 4–5% в год).

## **5. CRM-технологии – потенциал для развития организации**

В современных условиях требования к ведению бизнеса и отношениям с клиентами должны быть четко и беспристрастно определены, что требует создания внутренних стандартов качества. Требование постоянно анализировать текущие бизнес-процессы в организации – главная черта рынка. Когда все внутренние процессы компании направлены на удовлетворение потребностей клиентов, без CRM не обойтись [5, с.4].

Эффекты от внедрения CRM имеют многосторонний и комплексный характер, часть эффектов поддается лишь примерной количественной и качественной оценке. Проведя исследования, было выяснено, что в процессе использования CRM-технологий одной из главных задач является обучение персонала. Успех CRM-технологий зависит от того, как будет создаваться, и развиваться стратегия улучшения обслуживания клиентов [3, с.4]. От того, насколько она будет продуманной с точки зрения финансирования, сроков реализации, технического обеспечения, привлекаемых трудовых ресурсов, будет зависеть успех реализации и дальнейшего использования проекта. [6, с.4].

### **Литература**

1. *Гринберг П.* CRM со скоростью света. Привлечение и удержание клиентов в реальном времени через Интернет. – Символ-Плюс, 2006.
2. *Пейн Э.* Руководство по CRM. Путь к совершенствованию менеджмента клиентов. – Гревцов Паблишер, 2007.
3. *Молино П.* Технологии CRM. – М.:ФАИР-ПРЕСС, 2004.
4. Интернет-адрес: <http://crmguru.com>
5. Интернет-адрес: <http://www.mckinsey.com>
6. Интернет-адрес: <http://crmcom.ru>

# МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СТРУКТУР

**Т. А. Гоцкая**

Процесс формирования логистических структур в Республике Беларусь предполагает разработку и реализацию конкретных программ на республиканском, отраслевом и региональном уровне.

*Таблица 1*

**Шкала уровней развития логистических структур в Республике Беларусь**

Вид логистики	Уровень развития	Перспективы развития
Транспортная	высокий	<ul style="list-style-type: none"> <li>- создание региональных и международных логистических терминалов;</li> <li>- создание транспортных холдингов;</li> </ul>
Складская	средний	<ul style="list-style-type: none"> <li>- объединение складов общего пользования в партнерства или ассоциации;</li> <li>- создание низкотемпературных складов;</li> <li>- создание складов высокого класса (информатизация и сервисное обслуживание);</li> </ul>
Закупочная логистика	средний	<ul style="list-style-type: none"> <li>- расширение круга поставщиков (дистрибьютеров);</li> <li>- совершенствование системы международных поставок;</li> <li>- создание товаропроводящих сетей;</li> </ul>
Информационная	высокий	<ul style="list-style-type: none"> <li>- создание единого информационного центра логистических структур;</li> <li>- развитие электронной торговли, в том числе международной;</li> </ul>
Распределительная (сбытовая) логистика	средний	<ul style="list-style-type: none"> <li>- создание распределительных центров;</li> <li>- создание маркетинговых центров логистики;</li> <li>- поиск новых (международных) каналов сбыта;</li> </ul>
Производственная	средний	<ul style="list-style-type: none"> <li>- внедрение систем менеджмента качества;</li> <li>- компьютеризация и автоматизация;</li> <li>- комплексная модернизация;</li> <li>- инновационное развитие предприятий;</li> </ul>

В Республике Беларусь разработана стратегия развития национальной логистической системы на период до 2015 года. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 29 августа 2008 года «О Программе развития логистической системы Республики Беларусь на период до 2015 года» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2008 г., № 223, 5/28285) конкретизирует стратегию создания сети логистических центров. [1]

Однако в процессе реализации данной программы существует ряд нерешенных проблем. Наиболее актуальные из них – отсутствие единой типологии логистических центров, методики их формирования и развития. В этой связи целесообразно разработать методы оптимизации систем управления логистических структур в Республике Беларусь. Как следует из приведенной таблицы 1, уровень развития логистических структур в различных видах логистики (транспортная, складская, закупочная, информационная, распределительная, производственная) можно оценить по общим критериям в основном как средний.

Анализ развития логистических структур показывает, что, несмотря на быстрые темпы развития логистики, каждый отдельный ее вид требует существенных изменений и нововведений. Только благодаря инновациям и высокому уровню менеджмента можно систематизировать производственный процесс и улучшить качество логистической деятельности. В наибольшей модернизации нуждаются такие виды логистики как производственная, складская и закупочная. Но для того, чтобы разработать грамотную стратегию, необходимо детально изучить все условия и перспективы социально-экономического развития Республики Беларусь. Полноценная логистическая система может быть выстроена только в том случае, когда будет осуществлена программа оптимизации процессов, способствующих успешному функционированию всех элементов этой системы. Поэтому целесообразно использовать различные методы оптимизации систем управления логистических структур, которые приведены в таблице 2.

Результатами грамотной оптимизации систем управления логистических структур могут являться: эффективное использование всех видов ресурсов и оборотных средств предприятий; повышение эффективности работы с новыми клиентами, перегруппировка персонала, экономическая эффективность и отдача всех затрат, ресурсов и вложений; увеличение доходов, интенсификация маркетинговой и инновационной деятельности; поиск альтернативных решений, позволяющих заменить расходоёмкие решения на «мало затратные» варианты; принятие принципиально новых решений организации и ведения логистической деятельности, вплоть до изменения стратегии бизнеса; трансформация действующих или создание новых логистических структур.

Таблица 2

**Методы оптимизации систем управления логистических структур**

Название метода	Суть метода
Функционально-стоимостной	<p>Этот метод включает в себя технико-экономические исследования логистических систем:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• последовательность функций и их реальная стоимость, определение рабочих часов, количественной характеристики издержек, проведение окончательного расчета затрат и доходов в логистических структурах.</li> </ul>
Финансовый	<p>Данный метод включает в себя постоянный мониторинг финансового положения логистических структур.</p> <p>Объектами финансового метода оптимизации являются: использование финансовых показателей (коэффициентов); анализ финансовой отчетности, внедрение МСФО.</p>
Диагностический	<p>Комплекс диагностических процедур является очевидной стартовой фазой любого процесса оптимизации.</p> <p>Объектами диагностики являются: диагностика управления логистической отрасли, диагностика результатов деятельности и экономического состояния логистических центров.</p>
Информационный	<p>Совершенствование технической платформы и появление новых классов программных продуктов способствует стабильному развитию предприятия и сокращению затрат в процессе всего жизненного цикла производства. Информационные технологии используются во всей системе управления логистикой, задачей которых является оптимизация производственного процесса и получение эффективного результата.</p>
Метод прогнозирования и планирования	<p>Данный метод предполагает разработку стратегий, программ и бизнес-каналов развития логистических структур, которые включают в себя конкретные цели, задачи и комплекса мероприятия с точными сроками выполнения.</p>
Метод управления сквозными процессами	<p>Сквозные процессы логистики включают в себя: управление взаимоотношениями с потребителями, потенциальными клиентами, управление спросом, закупками и материальными потоками.</p>
Метод маркетинговых исследований	<p>Функции маркетинга в логистике: исследование рынка, разработка предложений о новых технологиях, организация материально-технического снабжения, системы товародвижения, формирования спроса и стимулирование сбыта.</p>

## Литература

1. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 16 декабря 2008 г. №1943 [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.mintrans.by>
2. Данные в «Таблице 2» [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.forum.logists.by>
3. *Гаджинский, А. М.* Логистика: Учебник для высших и средних специальных учебных заведений.- 2-е изд.- М.: Информационно-внедренческий центр «Маркетинг», 1999. – 228с.
4. Логистика: Учеб./Б.А Аникин.- 3-е изд., перераб. и доп.

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТОМ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

**О. М. Кузнецова**

Для упрощения управления, прежде всего финансового, необходимо иметь эффективную систему управления предприятием, включающую систему менеджмента качества, и информационную систему их поддержки. [1]

Проект – это временное предприятие, предназначенное для создания уникальных продуктов, услуг или результатов. [2, с. 4]

Отличительные признаки проекта: временность, уникальность, последовательность.

Основные процессы управления проектом: управление содержанием (предметной областью) проекта; процессы управления стоимостью: управление сметой. Смета существует в двух вариантах – декларативный, созданный для обоснования цены Заказчику, и полный – для бюджета проекта (внутренний документ); управление бюджетом проекта – для управления финансами проекта; управление временем и расписанием проекта; управление рисками; управления качеством; управление взаимоотношениями с клиентами; процедуры контроля за выполнением проекта; управления изменениями. [2, с. 7]

Все процессы управления проектом группируются в пять основных групп процессов: инициация, планирование, выполнение, контроль, закрытие.

Организации, выполняющие проект, обычно разбивают каждый проект на несколько фаз проекта (этапов) для обеспечения лучшего контроля и управления. Жизненный цикл проекта представляет собой наиболее типичную последовательность этапов, через которые проходит проект автоматизации предприятия. [3, с. 132]

Любой проект рассматривается в концепции «Тройного ограничения», или треугольника управления проектами: ограничения стоимости, ограничения расписания, ограничения продукта.

Самым значимым шагом в процессе определения содержания проекта является подготовка так называемого документа, описывающего содер-



жение (scope statement) – технического задания. Оно должно включать следующие основные части: обоснование проекта, резюме продукта, список всех «объектов доставки», границы. [2, с. 35]

Для того чтобы приступить к составлению структуры декомпозиции, следует разбить проект на несколько подпроектов. Каждый из подпроектов, в свою очередь, может быть разбит на некоторое число подподпроектов. Так следует последовательно делить проект на составные части до тех пор, пока не будет достигнут нужный уровень детализации. [2, с. 37]

Одним из процессов управления проектом является управление стоимостью. Существуют следующие виды оценок затрат: метод оценки «снизу вверх», метод оценки «по аналогу», метод параметрических оценок, метод оценки «снизу вверх». Метод оценки стоимости «сверху вниз» (top down estimate) используется для оценки трат на ранних стадиях проекта, когда информация о проекте еще очень ограничена. Суть метода «по аналогу» заключается в том, что для предсказания стоимости оцениваемого проекта используются фактические данные о стоимости прежде выполненных проектов. Метод параметрических оценок: процесс оценки по параметру состоит в нахождении такого параметра проекта, изменение которого влечет пропорциональное изменение стоимости проекта. Метод оценки «снизу вверх» нужен для выработки согласованной базовой цены проекта или окончательной стоимостной оценки проекта. [4, с. 87]

Расписание проекта – формальный, утвержденный документ, используемый для руководства, как выполнением проекта, так и его контролем. Существуют три основных диаграммы расписаний, с которыми приходится работать в ходе планирования и управления временем в проекте: сетевая диаграмма, график Ганта, диаграммы контрольных событий и диаграммы суммарных работ. [2, с. 53]

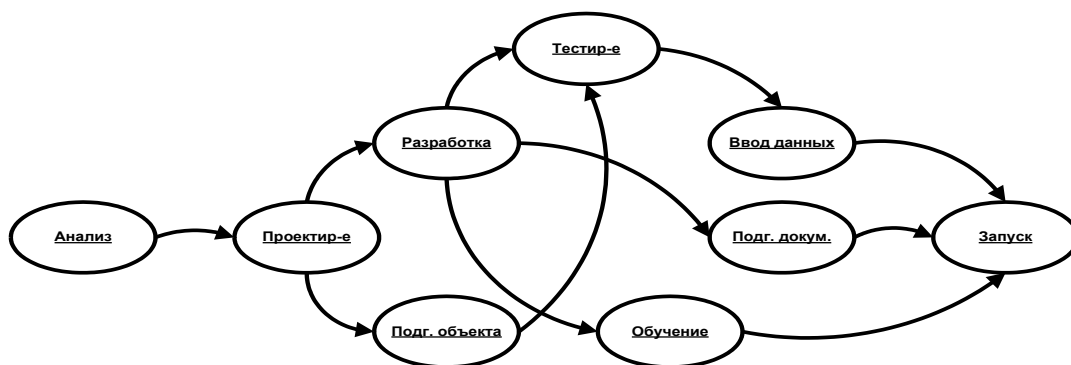


Рис. 1 Сетевая диаграмма «работа-вершина»

Графики Гантта – хорошо показывают внутренние связи расписания. Недостаточно отражает логические взаимоотношения.

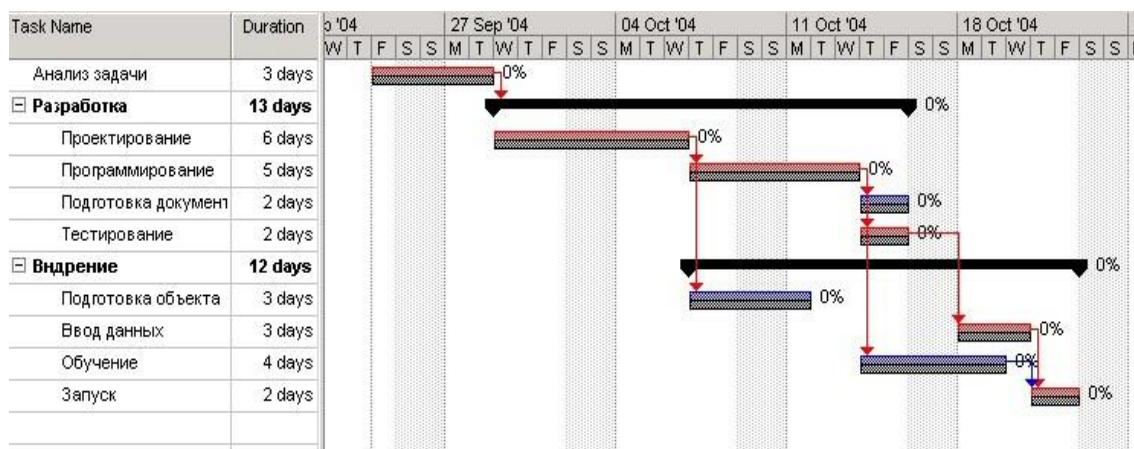


Рис.2 Диаграмма Гантта

Управление рисками (Project Risk Management) представляет процесс систематического выявления и анализа рисков и реагирования на них. Оно направлено на максимизацию вероятностей и последствий благоприятных событий и минимизацию вероятностей и последствий неблагоприятных событий, способных воспрепятствовать достижению целей проекта.

При составлении бюджета проекта для фирмы «АВС» (название изменено в целях конфиденциальности) были использованы следующие исходные данные, указанные в таблице:

Таблица 1

#### Входные параметры по проекту

Наименование	Параметры
Длительность проекта	2 месяца (40 рабочих дней)
Ставка фонда заработной платы	40% (по услугам)
Общая выручка по проекту	36000000 рублей
Стоимость услуг (для Заказчика)	30000000 рублей
Стоимость программного продукта (для Заказчика)	4500000 рублей
Себестоимость программного продукта	2100000 рублей
Стоимость командировочных расходов	~ 1200000 рублей
Ставка резервного фонда по этапу	15%
Ставка резервного фонда по проекту	20%

В результате проведенных расчетов, себестоимость программного продукта составила 22815000 рублей (себестоимость = фонд оплаты труда + отчисления в Фонд социальной защиты населения + командировочные расходы + себестоимость программного продукта), маржинальная прибыль – 13185000 рублей (маржинальная прибыль = себестоимость –

сумма реализации). Таким образом, результаты исследования показали, что рентабельность (прибыль/себестоимость, выраженная в процентах) составляет 58%, это говорит о том, что проект экономически очень успешный, доходы покрывают расходы. Исходя из проведенного исследования, можно предложить два варианта дальнейшего управления проектом по автоматизации деятельности организации:

1). **увеличить рентабельность проекта.** Сократив себестоимость, например, заработную плату на 10% можно достичь рентабельности проекта 68,4%.

2). **уменьшить отпускную цену,** чтобы привлечь большее количество клиентов. Сократив себестоимость, например, заработную плату на 10% и сохранив рентабельность проекта 58%, отпускная цена будет 33773448 рублей.

### **Литература**

1. Интернет портал Технологии корпоративного управления- [www.iteam.ru](http://www.iteam.ru)
2. *PSM Consulting Russia* Основы управления проектами и инструменты проектного менеджмента: Учебное пособие – М.:1С, 2006
3. *Хелен, С.Кук, Карен Тейт* Управление проектами: Перевод с англ., под редакцией М.С. Павловой –М.: Поколение, 2007
4. *Жеребина, О., Карташов, А., Слесаренко, М.* 1 С ПрофКейс: Учебное пособие- М.: 1С, 2006

## **РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ КОМПАНИИ ПО ПРОДАЖЕ МОБИЛЬНЫХ ТЕЛЕФОНОВ**

**А. М. Лущиков**

### **1. База данных как инструмент обработки информации**

Целью данной научной работы является разработка и внедрение базы данных компании по продаже мобильных телефонов ТЧУП «АВС».

В процессе выполнения данной работы необходимо решить следующий ряд задач:

- определить проблемы, связанные с хранением и обработкой информации в организации;
- разработать структуру, функции и интерфейс базы данных;
- разработать и осуществить план мероприятий по внедрению полученного решения, выявить и устранить трудности, возникающие на данном процессе;
- рассчитать эффективность внедрения базы данных и дать рекомендации по оптимизации процессов в данной области.

Объект и предмет исследования – результаты деятельности организации в рамках использования базы данных, которая решает возникшие проблемы и поставленные задачи.

На сегодняшний день в основе решения многих задач, лежит не только использование информации, но и ее правильное получение, анализ и интерпретирование для конечного пользователя. [3, с. 4] Для облегчения этих процессов и улучшения качества их выполнения создаются информационные системы. Базы данных – это программное средство, созданное для работы с информационными системами, для обработки данных в них, сортировки и вывода [1, с. 4].

## **2. Предпосылки к использованию базы данных**

Для начала следует сказать пару слов о самой компании. ТЧУП «АВС» присутствует на рынке розничной торговли мобильными телефонами Республики Беларусь с 2003 года. По данным исследований, которыми располагает данная организация: во время недавнего экономического кризиса количество конкурентов снизилось более чем на 14,6%, основная причина – банкротство.

На предприятии был проведен анализ слабых сторон в работе и возможности ее улучшения. Работники ТЧУП «АВС» обнаружили следующие проблемы в работе организации:

- потери времени на поиск необходимой информации и документации о товаре;
- сложности в оформлении клиентов и заказов;
- невозможность выполнения нескольких задач одновременно;
- неформализованный документооборот;
- отсутствие единого, хорошо продуманного, архива документов;
- трудности у руководства с проверкой отчетов и документов.

Эти проблемы в основном связаны с контролем и учетом на предприятии, и, как правило, они решаются за счет использования базы данных.

В связи с тем, что она способна:

- улучшить качество обработки информации о продукции предприятия;
- упростить процесс оформления клиента;
- внедрить единую форму документооборота [2, с. 4].

## **3. Разработка базы данных для организации**

После анализа основных бизнес-процессов на предприятии, была составлена следующая предметная область для базы данных: «Компания произво-

дит продажу клиентам мобильных телефонов, как за наличный расчет, так и по безналичному расчету. Кроме того, поставщики завозят новый товар».

На основании предметной области была составлена концептуальная схема данных, показывающая основные звенья в работе предприятия (рис. 1).

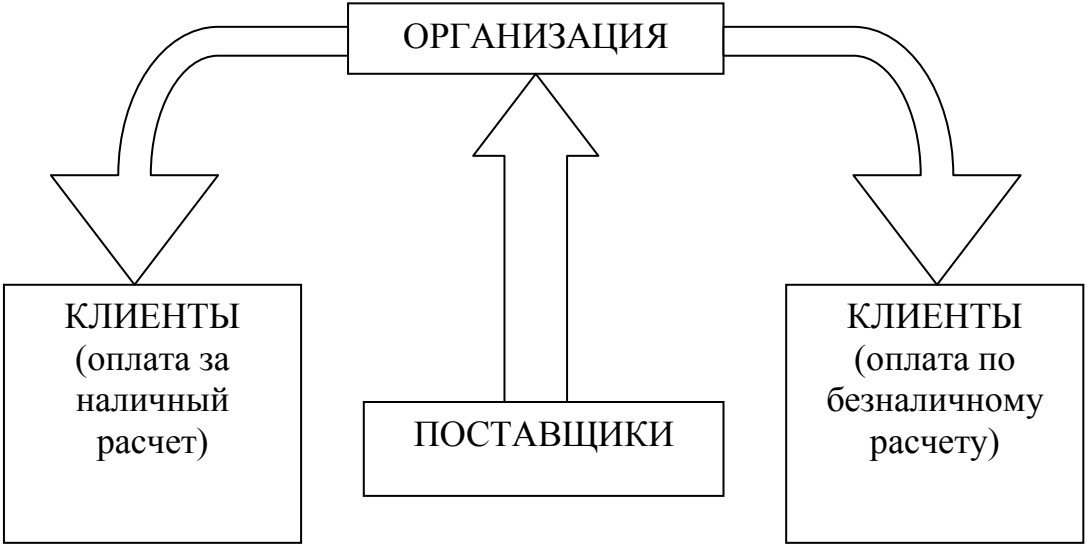


Рис. 1. Концептуальная схема данных

На ее основе в дальнейшем была создана более детальная – Логическая схема данных (рис. 2), которая отражает детально состав таблиц в будущей базе данных, связи между ними, а также необходимые дополнительные таблицы.

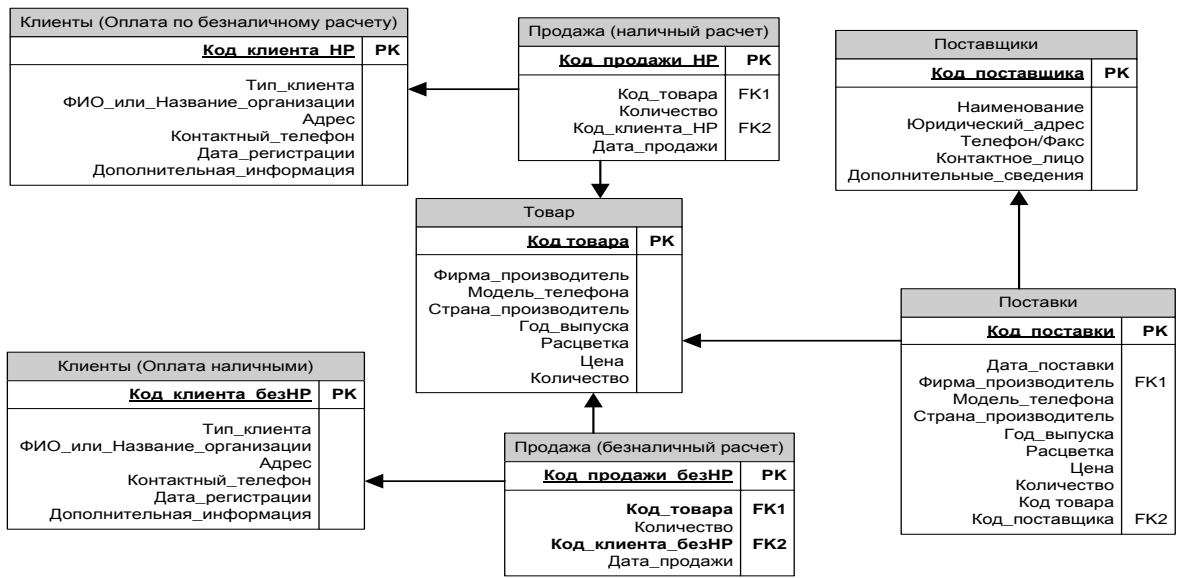


Рис. 2. Логическая схема данных

Для удобства работы конечных пользователей была разработана система форм, включающая главную форму (для ориентации среди функциональных возможностей БД) и специализированные на решении частных задач – второстепенные формы.

### **Внедрение базы данных и полученный эффект**

Следующим этапом был непосредственно сам процесс внедрения. В результате, выявились факторы, способствующие данному процессу, такие как: хорошее техническое оснащение офиса компании и поддержка внедрения со стороны руководства, а также сотрудников.

Основные трудности были связаны с недостаточными знаниями систем управления базами данных у сотрудников и отсутствием единого формализованного документооборота. Для их решения было использовано: обучение и цепное обучение персонала, а также проведение конкурса на эскиз отчетов для предприятия.

На сегодняшний день база внедрена и успешно используется. Уже на сегодняшний день она показала эффективность по двум основным направлениям:

Сокращение потерь времени:

- Модель «задержки документов»: Задержка документов сократилась на 25% или 9,37 документо-дней в год.

- Экономия времени для эффективной работы: 2400 часов в год.

- Экономия времени на отчетности и проверках: 574, 56 часов в год.

Сокращение финансовых потерь:

- Модель «Исключения потерь времени»: Сокращение издержек на 84,8% или на 761,7 у.е. в месяц.

- Экономия за счет эффективного использования времени сотрудников: 607,4 у.е. в месяц.

- Общая экономия после внедрения: около 1973,4 у.е.

### **Выводы и рекомендации по проделанной работе**

Таким образом, разработанная и внедренная база данных: существенно упрощает работу руководства и сотрудников предприятия, увеличивает скорость работы в сфере коммуникации с клиентом, сокращает потери времени и денег без ущерба производительности, регламентирует форму внутреннего документооборота, дает возможность контроля и архивации всех операций с продукцией[5, с. 4].

Рассматривая вопрос о рекомендациях для данной фирмы, можно сказать, что необходимо и в дальнейшем использовать IT-технологий в их деятельности. При желании расширения бизнеса, было бы замечательно

перейти на более серьезную и функциональную систему управления базами данных, однако, руководству предприятия в будущем необходимо заранее рассмотреть процессы выбора программы, проектирования и внедрения новой базы [4, с. 4].

Таким предприятиям как ТЧУП «АВС», работающим в сферах бизнеса с огромным числом конкурентов, необходимо отслеживать новые технологии, и сочетая их с уже внедренными, двигаться дальше, тем самым получая преимущество в работе, постоянно превышающее соответствующее у конкурентов.

#### **Литература**

1. Барановская, Т. П., Лойко В. И. – Информационные системы и технологии в экономике. – «Финансы и статистика», 2005 г., 416с.
2. Харрингтон Джен Л. – Проектирование реляционных баз данных – «Лори», 2006г., 240с.
3. Интернет-адрес: <http://www.sigmod.org>
4. Интернет-адрес: <http://www.citforum.ru/database/>
5. Интернет-адрес: <http://market-pages.ru>

### **АНТИКРИЗИСНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОУСТОЙЧИВОСТИ В БИЗНЕСЕ (НА ПРИМЕРЕ БАНКОВСКОГО СЕКТОРА РБ)**

**К. В. Маслова**

Банки составляют неотъемлемую часть современного денежного хозяйства, их деятельность тесно связана с потребностями воспроизводства. Они находятся в центре экономической жизни, обслуживают интересы производителей, связывая денежным потоком промышленность и торговлю, сельское хозяйство и население. По существу, банковская система – это сердце хозяйственного организма любой страны.

Для Беларуси эта тема особенно актуальна. Отечественным банкам, как и всей нашей экономике, не повезло во многих отношениях. Долгие годы административное, зачастую непрофессиональное мышление подменял экономический подход, и в результате подлинные экономические функции кредитных учреждений из главных превращались во второстепенные. Кризис ещё больше усугубил и выявил весь непрофессионализм работы банковской системы.

Цель:

Нам просто необходимо определить проблемы, стоящие перед банками и найти идеи перспективных подходов к решению проблемы устра-

нения некоторых наиболее серьезных недостатков, присущих банковской системе.

Задачи данной исследовательской работы:

1. Разобраться в понятии, сущности и структуре банковской системы;
2. Определить структуру и характеристику Национального банка и Коммерческих банков в Республике Беларусь;
3. Определить уроки, которые преподал нам кризис;
4. Поиск инструментов, идей для решения отраслевых уроков, проблем.

Несмотря на бурное развитие коммерческих банков за последние годы, их численность еще далеко не достаточна. По плотности банков Беларусь значительно уступает развитым зарубежным странам.

Во всех Развитых государствах действует многоуровневый контроль над деятельностью банков – со стороны Центрального банка, министерства финансов, местных и региональных органов власти, что позволяет предотвращать банкротства, восстанавливать платежеспособность банков и т.д.

От качественного и количественного роста банковского сектора в огромной степени зависит выход нашей страны из экономического кризиса. Несмотря на обремененность многочисленными проблемами, современные банки уже сложились в мощную экономическую силу. Для повышения их роли в экономике и способности перераспределять финансовые ресурсы в интересах всего народного хозяйства необходимо укреплять финансовую базу банковского сектора и существенно улучшить законодательные условия в банковской деятельности.

Было выделено шесть ключевых аспектов, извлечённых из финансового кризиса, которые являются по данным опроса наиболее важными (рис. 1).

Данные аспекты касаются недостатков, характерных для организаций, а также отражают мнения относительно постоянно наблюдаемых проблем, присущих отрасли в целом, для решения которых необходим наиболее комплексный подход.

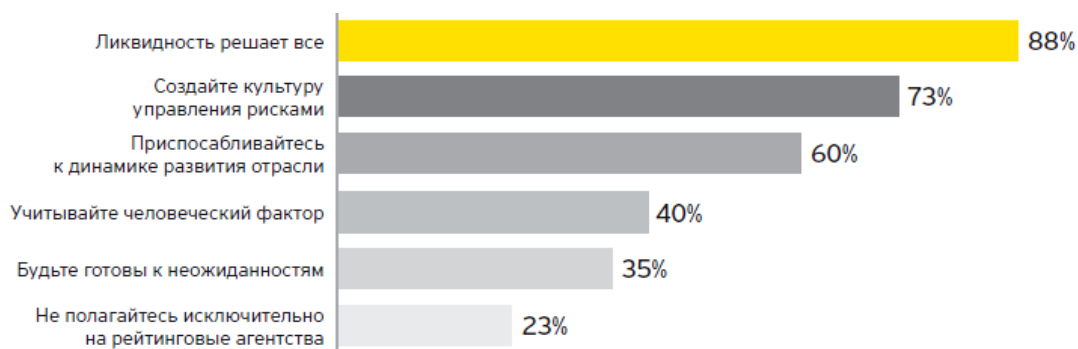


Рис.1. Данные опроса



Руководство банков быстро мобилизует ресурсы для выявления недостатков и поиска стратегических решений с тем, чтобы внедрить систему и привлечь кадры, необходимые для формирования комплексного подхода, основанного на прогнозировании будущих событий, для управления рисками и их минимизации.

Создание соответствующей культуры управления рисками требует фундаментальных изменений, имеющих долгосрочные последствия: управление рисками должно стать «делом каждого» в рамках организации – от клиентских до функциональных подразделений. Вопросы ответственности и подотчетности в отношении рисков сейчас связаны еще более тесно, чем когда-либо ранее. Все заинтересованные стороны – от членов советов директоров до руководителей и сотрудников операционных подразделений – должны более активно участвовать в вопросах выявления и минимизации рисков.

Основное внимание при проведении усовершенствований уделяется вопросам отчетности и прогнозирования, которые, по мнению руководителей, являются очень важными для успешного управления рисками. Обособленность и фрагментарность систем по-прежнему считаются основными препятствиями на пути создания системы управления рисками на корпоративном уровне, однако компании начинают поиск решений и процесс внесения изменений.

Последние события в финансовой сфере многому учат и заставляют делать выводы о чрезвычайно большом значении управления ликвидностью, о необходимости создания соответствующей культуры управления рисками, о том, что нельзя расслабляться в условиях благоприятной экономической конъюнктуры. Банки сделали вывод о том, что всегда надо быть готовыми к непредвиденному ходу событий.

Данное исследование позволило извлечь из текущего экономического кризиса ряд чрезвычайно полезных уроков. Наиболее важными из них является необходимость обеспечения ликвидности. Вопросы внедрения культуры управления рисками и мониторинга динамики развития отрасли также являются крайне важными для всего банковского сообщества.

Кроме того, были сделаны выводы о необходимости привлечения высококвалифицированных специалистов в области управления рисками (которые могут принимать эффективные решения и своевременно сообщать о ключевых рисках), использования более совершенных аналитических инструментов для прогнозирования будущих циклических событий и более осторожного подхода к оценкам рейтинговых агентств, на которые не стоит полностью полагаться.

В совокупности эти уроки, извлеченные в период глубоких финансовых потрясений, свидетельствуют о том, что наряду с вопросами увеличения прибыли и повышения рентабельности управление рисками должно занять

равное по степени приоритетности место на повестке дня в качестве стратегической задачи. Для этого требуется наличие специальной структуры управления рисками в масштабе компании, которая обеспечила бы целостный подход к проблеме, который используется лишь немногими банками.

На основании проведенного исследования работы банковского сектора во время кризиса предложены следующие направления в совершенствовании банковской деятельности:

Сценарное планирование: Необходимо, чтобы участвующие в процессе менеджеры функциональных подразделений и служб, осуществляющих контроль, проводили оценку на основе документально подтвержденных данных и разрабатывали планы действий в непредвиденных ситуациях для дальнейшего их представления руководству.

Повышение качества отчетности для принятия верных стратегических решений: Комплексная согласованная и содержащая прогнозные оценки отчетность по рискам является важным инструментом, обеспечивающим управление рисками в масштабе организации. Грамотно составленная отчетность по рискам – в плане содержания и своевременности – является важным шагом на пути к созданию эффективной системы управления рисками в масштабе организации. Такая отчетность обеспечивает руководство, клиентские подразделения и специалистов по управлению рисками информацией, которая им необходима для принятия верных решений в соответствии с максимально допустимым уровнем риска и общими целями компании.

Подготовка к неожиданному развитию событий: Банки нуждаются в более совершенных инструментах прогнозирования, которые позволят руководству подвергнуть критическому анализу основные допущения, касающиеся развития бизнеса и рисков, оценить их потенциальное влияние на результаты, разработать планы действий в чрезвычайных ситуациях и оценить последствия рыночных событий в отношении различных типов рисков.

#### **Литература**

1. *Кабушкин С.Н.* Управление банковским кредитным риском. Мн., Новое знание, 2007.
2. *Лаврушин О.И.* Банковское дело. М., Финансы и статистика, 1998.
3. Банковское дело. / Под ред. проф. В. И. Колесникова. М., Финансы и статистика, 2000.

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА**

**Д. И. Онищенко**

Экономическая безопасность является важнейшим условием обеспечения национальной безопасности Республики Беларусь во всех сферах:

политической, экономической, военной, экологической, информационной и гуманитарной. Концепция национальной безопасности Республики Беларусь представляет собой систему взглядов о направлениях, средствах и способах защиты жизненно важных интересов личности, общества и государства. Глава государства уделяет особое внимание совершенствованию системы национальной безопасности. В 2001 году был принят Указ Президента Республики Беларусь №390 «Об утверждении Концепции национальной безопасности Республики Беларусь». В 2010 году по поручению Главы государства будет разработана новая концепция национальной безопасности Республики Беларусь.

Целью данного исследования является разработка предложений по использованию международного опыта для обеспечения экономической безопасности Республики Беларусь. Для того чтобы выявить сильные и слабые стороны экономики Республики Беларусь, был проведён SWOT-анализ экономического развития, а также сделана оценка реальных возможностей для дальнейшего развития экономического потенциала нашей страны.

*Таблица*

**SWOT-анализ экономической безопасности Республики Беларусь**

Сильные стороны	Возможности развития экономики
<p>Выгодное геоэкономическое положение</p> <p>Политическая, экономическая и социальная стабильность</p> <p>Развитая транспортная система, высокое качество дорог</p> <p>Высокий уровень образования и квалификации трудовых ресурсов</p>	<p>Использование новейших технологий для инновационного развития экономики</p> <p>Привлечение прямых иностранных инвестиций</p> <p>Увеличение транзита через территорию страны</p> <p>Развитие внешнеэкономической деятельности субъектов хозяйствования</p>
Слабые стороны	Угрозы внешней среды для экономики
<p>Большой физический и моральный износ основных фондов предприятий.</p> <p>Большие расходы на развитие социальной сферы</p> <p>Значительное количество убыточных предприятий</p>	<p>Обострение конкуренции на мировых рынках</p> <p>Повышение цен на импортируемые сырьевые ресурсы</p> <p>Отрицательное сальдо внешней торговли Республики Беларусь</p> <p>Кредиторская задолженность предприятий реального сектора экономики</p>

Для обеспечения экономической безопасности Республики Беларусь необходимо, прежде всего, достигнуть положительного сальдо во внешней торговле. Сделать это можно, прежде всего, благодаря повышению конкурентоспособности отечественной продукции, использованию новейших технологий, привлечению прямых иностранных инвестиций, выходу на но-

вые рынки реализации продукции и увеличению транзита. Назрела необходимость формирования новой модели экономической безопасности Республики Беларусь с использованием международного опыта различных стран. В этих целях целесообразно создать аналитический центр для сбора и обработки данных о международном опыте развития экономики с обязательным предоставлением её высшему руководству страны.

Страноведческий анализ показывает, что для разработки новой модели экономической безопасности Республики Беларусь необходимо использовать положительный опыт развития экономики различных стран. Например, опыт Швеции: на территории этой страны находятся экспортно-ориентированные, высокотехнологичные предприятия. Уровень развития инноваций и системная модернизация производств, а также высокая квалификация персонала является гарантом конкурентоспособности этих предприятий на мировом рынке. Опыт Норвегии: несмотря на то, что Норвегия является одним из ведущих экспортёров углеводородов в мире, в этой стране преимущество отдаётся гидроэнергетике, благодаря которой в Норвегии получают 99% электрической энергии. Опыт Малайзии: высокого развития в этой стране достигли электронная промышленность. Малайзия занимает первое место в мире по производству электронных чипов и бытовых кондиционеров, активно используются инвестиции для развития национальной экономики. Опыт Сингапура: по ряду параметров это одна из наиболее динамично развивающихся стран Юго-Восточной Азии. ВВП Сингапура – 238 млрд. долл. Экономика Сингапура отличается благоприятным инвестиционным климатом, высокой конкуренцией, экономической свободой и низким уровнем налогообложения. Опыт Турции: правовой климат Турции особенно благоприятен для развития бизнеса. Открыть новую компанию в Турции можно в течение одного дня независимо от гражданства и места проживания. В этой стране нет разницы между резидентами и нерезидентами во всех сферах деятельности, привлекаются большие зарубежные инвестиции. Опыт Китая: мировой лидер по привлечению иностранных инвестиций. Предприятия, создаваемые в Китае, применяют передовые зарубежные технологии, соответствующие международному уровню. Китай экспортирует большую часть производимой продукции. Эта страна является наиболее важным инвестором ряда инвестиционных и инновационных проектов Республики Беларусь.

Эти и другие примеры могут быть использованы для разработки новой концепции экономической безопасности Республики Беларусь.

Неотъемлемой частью экономической безопасности является энергетическая безопасность. Электроэнергия в Республике Беларусь производится в основном с использованием российских энергоресурсов. Одним из ос-

новных преимуществ белорусских предприятий было получение энергоносителей по приемлемым для экономики страны и субъектов хозяйствования ценам. Республика Беларусь в рамках Союзного государства получала в 2009 году порядка 21,5 миллионов тонн нефти из России по фиксированным ценам и обеспечивала её глубокую переработку на модернизированных предприятиях г. Мозыря и г. Новополоцка [2]. Однако в связи с введением в 2010 году по инициативе Российской Федерации высоких таможенных пошлин на большую часть поставляемой нефти в условиях формирования единого таможенного пространства Республики Беларусь, Российской Федерации и Республики Казахстан, изменились условия торговли энергоносителями, что привело к значительным финансовым издержкам нашей страны. В результате был нарушен основополагающий принцип формирования таможенного пространства – равные условия беспошлинной торговли в рамках единой таможенной территории. Исключение в одностороннем порядке одной из стран, входящих в единое таможенное пространство какой-либо группы товаров, сырья или материалов, из установленных условий беспошлинной торговли приводит к нарушению экономического развития этих стран и, как следствие, к возможным политическим противоречиям. Данную проблему необходимо решать в соответствии с международной практикой, методом достижения консенсуса, ускорив процесс формирования единого экономического пространства.

Для того чтобы обеспечить энергетическую безопасность, как важнейшего условия экономической безопасности, необходимо диверсифицировать топливно-энергетический комплекс Республики Беларусь, развивая возобновляемые источники энергии. Наша страна обладает уникальными возможностями для использования ветро-, гидро-, гелиоэнергетики и других возможных источников энергии. Первым шагом в этом направлении будет являться закон о развитии альтернативных источников энергии. Вместе с тем, необходимо использовать мировой опыт, прежде всего стран Евросоюза, по созданию и эксплуатации ветроэнергетических установок, специального оборудования по использованию солнечной энергии, строительству гидроэлектростанций различной мощности, а также биогазовых установок, особенно в аграрном секторе. Для практического решения вопросов развития альтернативных источников энергии безусловно необходимо создание соответствующих организационных, правовых и экономических механизмов. В то же время предстоит провести тщательный маркетинговый анализ реальных возможностей поставок из других стран в Республику Беларусь нефти и газа как традиционных источников энергии, а также разработать конкретные меры по сотрудничеству с зарубежными партнерами в области атомной энергетики. Только тщательный

финансово-экономический и технико-технологический анализ позволит выработать обоснованные предложения и проекты решений для высшего руководства страны в области энергетической безопасности. Неизменными критериями таких решений могут быть экономическая целесообразность и возможность эффективного использования различных источников энергии в долгосрочной перспективе.

Таким образом, проблемы обеспечения экономической безопасности необходимо решать с учётом мирового опыта, тенденций экономического и научно-технического развития, постепенным переходом на новые технологические уклады материального производства. Очевидно, назрела необходимость разработки государственной комплексной программы обеспечения экономической безопасности Республики Беларусь в новых геополитических реалиях с учётом кризисных явлений в мировой экономике.

Целесообразно особое внимание при разработке и реализации комплексной программы обеспечения экономической безопасности Республики Беларусь уделить следующим перспективным направлениям развития экономики страны:

1. Ускоренной модернизации материально-технической базы субъектов хозяйствования реального сектора экономики на основе использования новейших технологий и привлечения прямых иностранных инвестиций. В этих целях необходимо принять новую Государственную программу инновационного развития Республики Беларусь на 2011-2015 годы.

2. Диверсификации поставок и производству энергетических ресурсов, развитию альтернативных возобновляемых источников энергии. В этих целях целесообразно использовать новейшие технологии по производству энергии на базе каскадных ветроэнергетических установок и гидроэлектростанций, входящих в единую энергетическую систему страны, организовать современное производство оборудования для использования солнечной энергии и биомасс.

3. Стимулировать создание многофункциональных логистических центров, включающих таможенное оформление, складирование, хранение и доставку различных видов товаров, а также информационное обеспечение деятельности транспортных и иных организаций, заинтересованных в развитии бизнеса на территории Республики Беларусь и активизации внешнеэкономической деятельности. В этих целях необходимо использовать потенциальные возможности транснациональных компаний и финансово-промышленных групп.

4. Осуществить в кратчайшие сроки приватизацию нерентабельных государственных предприятий и репрофилирование неконкурентоспособных производств во всех отраслях и регионах страны. В этих целях Мини-

стерство экономики Республики Беларусь и Национальное агентство по зарубежным инвестициям и приватизации призваны провести тщательный анализ финансового состояния и перспектив развития убыточных предприятий реального сектора экономики, внести конкретные предложения в республиканские и местные органы государственного управления.

5. Снизить процентные ставки по кредитам в белорусских банках для юридических и физических лиц посредством снижения ставки рефинансирования.

### **Литература**

1. Агентство финансовых новостей afn.by // Нефть
2. Четвёртый обзор МВФ в рамках договорённости о кредите станд-бай
3. Официальный сайт МВФ // imf.org
4. Официальный сайт министерства обороны // «Концепция национальной безопасности» <http://mod.mil.by/koncept.html>

## **ФИНАНСОВЫЙ КОНТРОЛЬ КАК СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ**

**Т. Е. Шестак**

Рыночная экономика в Республики Беларусь все больше и больше оказывает влияние на действия хозяйствующих субъектов. Чтобы обеспечить не только выживаемость, но и стабильность предприятия в условиях сильной конкуренции, его руководителям стоит обратить внимание на финансовые возможности не только своего предприятия, но и его конкурентов. Таким образом, финансовая деятельность, в частности финансовый контроль, становится важным моментом деятельности организации. Финансовый контроль выявляет степень выживаемости предприятия на рынке, его потенциал, оценивает, в какой степени затрагиваются экономические интересы самого предприятия и его партнёров в финансовом и производственном отношении.

Но просто оценить финансовое состояние предприятия явно не достаточно. Его выживаемость обеспечивается за счет правильного управления финансовыми ресурсами, находящимися в его распоряжении.

В процессе управления контроль является, по сути, обратной связью, так как в результате контроля производятся корректировки ранее поставленных задач. Таким образом, финансовый контроль управляет финансовыми ресурсами любого предприятия.

Но только «регулярность, тщательность изучения финансовой отчетности является залогом успешного финансового управления предприятием». [6; с. 152]

Как уже было отмечено, функция контроля состоит в выявлении и устранении фактов, отрицательно влияющих на функционирование организации, и достигается эта функция посредством финансового анализа.

Следовательно, видна взаимосвязь финансового контроля и анализа. Финансовый анализ является своеобразным инструментом финансового контроля, помогающим в достижении целей организации, который направлен на «своевременное выявление и устранение недостатков финансовой деятельности, нахождение резервов улучшения финансового состояния предприятия, его платежеспособности». [5, с. 92]

В Республике Беларусь, согласно нормативным документам [1; 2; 3; 4] и инструкциям, основная цель финансового анализа состоит в обосновании решения о признании или непризнании структуры бухгалтерского баланса неудовлетворительной, а организации - неплатежеспособной.

Компания ТЭООО «Транслогистик» была создана в 1997 году.

Основная деятельность Транспортно-экспедиционного общества с ограниченной ответственностью «Транслогистик» – деятельность автомобильного грузового транспорта и организация перевозок грузов. Согласно действующему законодательству общество на основе полученных лицензий осуществляет следующую деятельность:

- перевозка грузов автомобильным транспортом;
- транспортно – экспедиционная деятельность.

Характеризуя особенности финансовой работы, можно отметить, что финансовый контроль на предприятии осуществляется в рамках финансовой политики и направлен на обеспечение оптимального уровня обеспеченности финансовыми ресурсами. Финансовый контроль в ТЭ ООО «Транслогистик» осуществляет в рамках финансово-экономического отдела.

Анализ предприятия (рис. 1) показал, что в отчетном периоде наметилась тенденция спада экономической деятельности.

Товарооборот ТЭООО «Транслогистик» за 2009 г. снизился на 15,72%, что в действующих ценах составило спад на 318 млн. руб. В соответствии с этим доход от реализации ТЭООО «Транслогистик» снизился за 2009г. на 3,92%. Уровень дохода от реализации вырос на 0,35 % к обороту. В динамике на сумму дохода от реализации отрицательно повлияло снижение объема реализованных услуг.

Поскольку товарооборот снизился, то и прибыль организации в течение года показала тенденцию спада, и уменьшилась на 78,22%. Чистая прибыль ТЭООО «Транслогистик» также уменьшилась на 78,18%.

Таким образом, в 2009 году наметился спад в деятельности ТЭООО «Транслогистик». Дальнейший анализ поможет выявить причины спада и возможности улучшения состояния.



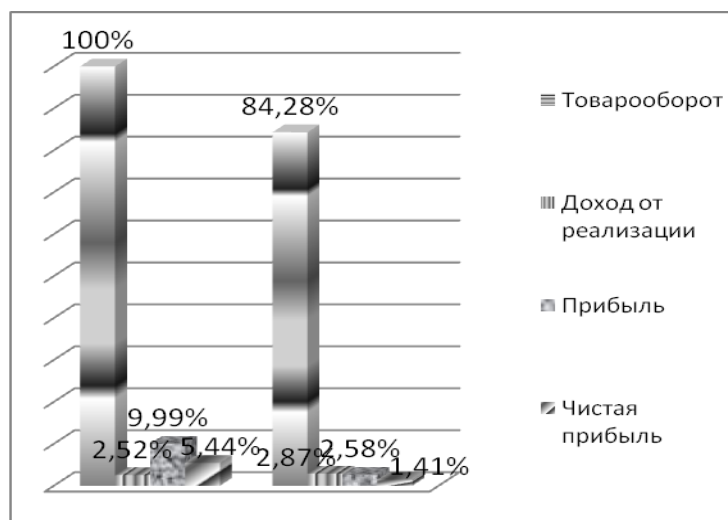


Рис. 1. Динамика основных показателей

В результате самостоятельно проведенного финансового анализа ТЭ ООО «Транслогистик» было выявлено:

Мировой экономический кризис негативно сказался на деятельности как отрасли в целом, так и отдельного предприятия. Это стало причиной снижения прибыли от реализации услуг на 3,92%, снижения запаса наличности на 30,88%, борьбы за сохранение покупателей, с предоставлением им выгодных кредитов, и рисками увеличения дебиторской задолженности, нехватки денежных средств для эффективной деятельности организации. Все это не могла сказаться на предприятии «Транслогистик».

Несмотря на то, что величина баланса осталась неизменной и составила 1 933 млн. руб., изменилось соотношение внутри активов предприятия в пользу увеличения собственных средств предприятия и уменьшения заемных, что положительно, с точки зрения финансовой независимости и устойчивости. Хотя соотношение собственных и заемных средств не оптимально (заемные превышают собственные средства), рост собственных средств на 6,36% говорит о меньшей зависимости организации от внешних заемных источников.

Привлечение долгосрочного займа стало положительным моментом в деятельности организации, так как использование лишь краткосрочных займов – не самый выгодный вариант ведения дел, ведь помимо расходов на функционирование организации ей приходится еще и платить проценты за краткосрочные займы, что в контексте финансового кризиса и спада объема реализованных услуг крайне невыгодно. Поэтому привлечение 274 млн. руб. в качестве долгосрочных обязательств выгодно предприятию. Так коэффициент устойчивого финансирования вырос на 20,6%, что стало возможно благодаря сокращению уровня кредиторской задолжен-

ности и привлечению долгосрочного капитала. Степень покрытия увеличилась на 39,78% по сравнению с началом отчетного периода. Организация за счет привлечения долгосрочного капитала и собственного капитала на 100% смогла покрыть внеоборотные активы и еще 10,26% оборотных средств, когда при отсутствии долгосрочных обязательств и только за счет собственных средств на начало периода за счет собственного капитала покрывалось лишь 70,48% основных фондов.

Что касается платежеспособности и ликвидности, то ввиду снижения запасов денежных средств, текущая платежеспособность организации снизилась на 0,71, и коэффициент на конец года составил 0,52, не превысив нормативное значение  $>1$ . Однако сокращение запаса денежных средств может быть связано с тем, что организация использовала ресурсы для вложения в свои активы. Денежные средства, как актив, тоже должны работать и приносить доход, но % по вкладам в банк не приносят удовлетворительного результата, а простое наличие денежных средств на счетах, также не способствует генерированию прибыли, отсюда тенденция к использованию данных средств в качестве инвестиций в активы организаций и, соответственно, снижению показателя текущей ликвидности. На фоне снижения показателя текущей ликвидности наблюдается стабильность и незначительный рост прочих коэффициентов данной группы, что подтверждает теорию о возможном использовании денежных средств. Но не превышение их нормативных значений является сигналом для предприятия, хотя критическая оценка ликвидности выросла в 0,4 раз и составила 1,06, что попадает в норматив 1–1,5 для данного показателя.

Согласно показателям, финансовая устойчивость предприятия находится на среднем уровне. Коэффициент автономии составил 0,48 на конец отчетного периода, недотянув 0,02 до своего норматива. Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами недотянул до норматива 0,07. Но на фоне увеличения показателей по сравнению с началом года, это скорее является положительным знаком. Поэтому, предприятию стоит обратить внимание на пути повышения своей финансовой устойчивости. Для этого руководству следует обратить внимание на следующие рекомендации:

- уделить внимание платежеспособности организации при помощи постоянного мониторинга финансовых ресурсов и коэффициентов;
- продолжать реализовывать излишки материально-производственных запасов и основных средств;
- продолжать увеличивать доли источников собственных средств в оборотных активах и сокращать долю заемных средств путем

сокращения доли краткосрочных обязательств, оптимизации расчетов с кредиторами;

- обеспечивать рост прибыли с одновременным снижением производственных издержек, для этого увеличивать товарооборот и количество оказанных услуг путем привлечения новых клиентов и сохранения отношений со старыми клиентами;

- обратить внимание на расчеты с дебиторами (должниками организации), при постоянном мониторинге отслеживать неплательщиков, оптимизировать расчеты с дебиторами и кредиторами.

### **Литература**

1. Закон Республики Беларусь 18 октября 1994 г. N 3321-XII о бухгалтерском учете и отчетности (в ред. Законов Республики Беларусь от 25.06.2001 N 42-З, от 17.05.2004 N 278-З, от 29.12.2006 N 188-З)
2. Закон Республики Беларусь от 19.07.2000 «О мерах по предотвращению легализации доходов, полученных незаконным путем» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2000 г., № 75, 2/201)
3. Закон Республики Беларусь от 08.11.1994 «Об аудиторской деятельности» (Ведомости Верховного Совета Республики Беларусь, 1994 г., № 35, ст. 573)
4. Банковский кодекс РБ
5. *Адаменкова С.И., Евменчик О.С.* Анализ хозяйственной деятельности: учебное пособие. Минск: БНТУ, 2008. 260 с.
6. *Ронова Г.Н.* Анализ финансовой отчетности. / Московский международный институт эконометрики, информатики, финансов и права. М., 2003. 156 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ

<b>Агеева Е. С.</b> О статистическом оценивании параметров регрессии при наличии случайного цензурирования.....	3
<b>Бодягин И. А.</b> Об оценках максимального правдоподобия параметров $ar(1)$ – временных рядов при наличии цензурирования.....	7
<b>Вечерко Е. В.</b> Вероятностно-статистическое моделирование в стеганографии ....	10
<b>Гончаров Д. А.</b> Выделение средних линий объектов на трехмерных медицинских изображениях .....	14
<b>Горбацевич Д. А.</b> Программная реализации эмпирической модели распространения фронта пожара. ....	18
<b>Горшунов В. С.</b> Системы моделирования поведения пользователей .....	21
<b>Дежемесова В. С., Барановский Б. А.</b> Алгоритмы кредитного скоринга на основе эконометрических моделей.....	24
<b>Ильинкова А. В.</b> Разработка тестов контроля цифровых систем на верхних уровнях проектирования.....	28
<b>Карпейчик В. А.</b> Численный анализ одного парареального алгоритма решения систем ОДУ .....	32
<b>Комаров И. И.</b> Сравнительный анализ оценок хвостового индекса методами М.Б.Хилла и DPR устойчивых случайных величин .....	37
<b>Кондратюк А. П.</b> Глобальная устойчивость и разрушение разностных схем для полулинейных параболических уравнений.....	40
<b>Кузьмина А. В.</b> Оценка параметров дисперсионного гамма – процесса .....	44
<b>Мазаник Ю. С., Котов В. М.</b> Задачи минимизации времени завершения проекта на многопроцессорной системе с разными скоростями процессоров .	47
<b>Мальцев М. В.</b> Вероятностно-статистический анализ цепей Маркова переменного порядка.....	51
<b>Матецкий К. С.</b> Оценивание риска прогнозирования однородных конечных цепей Маркова.....	55
<b>Морейнис А. Г.</b> Тестирование web-приложений .....	58
<b>Столяров В. О., Шавлак М. Ю.</b> Задача оптимального покрытия измененных данных.....	62
<b>Чернов С. Ю.</b> Влияние функциональных искажений распределения наблюдений на характеристики последовательного критерия .....	66
<b>Чэнь Хайлун</b> Об оценке параметра положения $\alpha$ – устойчивых распределений..	69
<b>Шукело В. О.</b> Разработка распределённых систем надёжного хранения данных .....	73
<b>Шут О. В.</b> Модели распознавания на основе прецедентного и логического представления информации.....	77
<b>Якубук Р. М.</b> Об устойчивости явной разностной схемы для квазилинейного параболического уравнения .....	81

### ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

<b>Адамейко П. Н., Шляхтин В. В.</b> Высоколинейные малошумящий усилитель и смеситель на 1.8 ГГц.....	86
---	----

<b>Багач У. М., Панявіна А. М.</b> Узаємодія світла з ізоляційними наночастинками нікелю .....	88
<b>Гаврилов В. В., Тихомиров В. В.</b> Влияние диффузии электромагнитного поля в проводник на эффективное сопротивление магнитокумулятивного генератора.....	92
<b>Голованов А. А.</b> Динамика осциллятора и столкновение кинков в модели потенциала $\lambda\phi^4$ .....	96
<b>Голубева Е. Н.</b> Редокс-регуляция клеточных процессов: роль ионов водорода и кальция.....	100
<b>Кичакова О. Ю., Шишкина Т. В.</b> Поляризационные эффекты в процессах рождения пар слабых заряженных бозонов фермионами .....	104
<b>Комар Д. А.</b> Поляризационная анизотропия спектральных и энергетических характеристик ВКР-лазера на кристалле KGW:Nd .....	107
<b>Кудакцін Р. С.</b> Фармавання сіліцидау цырконія пры ўздзеянні кампрэсійнай плазмы .....	110
<b>Локтик В. А.</b> АЦП специального назначения в GPS/ГЛОНАСС системах навигации .....	113
<b>Ропот А. П.</b> Динамика спекл-полей и её применение для дистанционного определения теплофизических свойств материалов .....	117
<b>Станкевич В. Ю.</b> Изучение влияния природных и инструментальных факторов на точность измерения общего содержания атмосферного озона по спектрам энергетической освещенности земной поверхности УФ излучением Солнца .....	121
<b>Угневенко В.Н.</b> Проблемы создания спектрометрических детекторов ионизирующих излучений на основе алмаза .....	124
<b>Федотова Ю. А., Касюк Ю. В., Свито И. А., Максименко А. А., Калинин Ю. Е., Ситников А. В.</b> Магнитная структура наногранул FeCoZr и спин-зависимое туннелирование в окисленных нанокompозитах FeCoZr-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	128
<b>Чибирай П. С.</b> Моделирование структурных и спектральных характеристик молекулярных зондов на основе производных 1,3,4-оксадиазола .....	132

#### ФАКУЛЬТЕТ РАДИОФИЗИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

<b>Лисица Е. В.</b> Сравнительный анализ методов сегментации объектов биомедицинских изображений.....	136
<b>Лопатин Д. П., Кулаженко С. В., Кольчевский Н. Н.</b> Цифровая обработка изображений наночастиц.....	140
<b>Мацкевич Е. П.</b> Исследование неоднородности изображений в пространственной области.....	145
<b>Микитчук К. Б.</b> Численное моделирование процессов нелинейного преобразования в волноводах с модулированным профилем диэлектрической проницаемости.....	148
<b>Новиков Д. В., Петров П. В., Кольчевский Н. Н.</b> Расчет характеристик микрокапиллярной адиабатической линзы.....	152
<b>Сачков Е. П., Стецик В. М., Манак И. С.</b> Температурная зависимость порога генерации гетеролазера в системе GaInAsSb-AlGaAsSb.....	155

<b>Ткачя А. В.</b> Разработка системы поиска ключевых слов в слитной речи на основе скрытых Марковских моделей.....	159
<b>Томашевский Р. М., Серикова Н. В.</b> Персональные и сервисные сертификаты для обеспечения информационной безопасности в ГРИД-сетях .....	163
<b>Чертков М. А., Калацкая Л. В.</b> Анализ и моделирование данных инерциального комплекса ориентации и навигации.....	166
<b>Шалейко И. Г.</b> Физико-статистическая модель процесса электромиграции ...	170
<b>Шингарёв И. П., Скакун В. В.</b> Моделирование потока фотоотсчётов с учётом двух излучательных состояний молекул в системах флуоресцентной флукуационной спектроскопии.....	174
<b>Шинкевич Е. Ю., Скакун В. В.</b> Кумулянтный анализ распределения числа фотоотсчетов с учетом диффузии для двухкомпонентного образца.....	178
<b>Янковский С. Г., Труханович А. Л.</b> Аппаратно-программный шифратор данных, использующий USB-интерфейс .....	182

#### МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

<b>Блинец И. А.</b> Р-адический алгоритм факторизации .....	186
<b>Расюкевич Е. А.</b> Конечные элементы для приближений поля центральных сил и валентно-силового поля .....	189
<b>Щеглова Т. В.</b> Условия центра кубической системы с одиннадцатью параметрами в случае симметрии.....	193

#### ХИМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

<b>Буйко А. В., Давыдова Р. Н.</b> Экстракция новокаина в виде ионного ассоциата с пикратом .....	197
<b>Глушко Р. А., Кузнецова Е. И.</b> Экстракция кислот стерически незатрудненными аминами.....	199
<b>Гресь А. Т., Ковальчук Т. В.</b> Комплексообразование ионов Mn(II) и Fe(II) с пространственно экранированными о-дифенолами и о-аминофенолами.....	201
<b>Коваленко В. Н.</b> Синтез (15R)-C13-C21 фрагмента молекул эпотилонов из d-маннита.....	205
<b>Коник Ю.А., Кананович Д. Г.</b> Энантиоселективное циклопропанирование сложных эфиров диалкоксититаноциклопропановыми реагентами .....	209
<b>Позняк Н. И., Войникова Е. В., Попеня М. В.</b> Миграционная способность урана в почвах Беларуси .....	212
<b>Свердлов Р. Л., Бринкевич С. Д.</b> Влияние витаминов группы в на радиационно-индуцированное дефосфорилирование $\alpha$ -глицерофосфата в деаэрированных водных растворах .....	217
<b>Фираго Д. С.</b> Изучение кинетики реакции кватернизации 1-метилимидазола 1-бромбутаном в ацетонитриле.....	221

#### ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

<b>Буткевич И. С.</b> Экологическая оценка ландшафтов Минского района .....	226
<b>Головач Л. В.</b> Разработка учебного картографического пособия по географии Беларуси с использованием компьютерных технологий .....	229

<b>Джуро И. В.</b> Возможные мероприятия по рекультивации выработанных торфяников Березовского района .....	223
<b>Косяков А. А.</b> Динамика и структура миграции населения г. Минска .....	237
<b>Кошевой В. О.</b> Геополитический анализ энергетической сферы постсоветского пространства .....	240
<b>Краковецкий А. В.</b> ТНК электронной промышленности в современном мире .....	244
<b>Молокин А. С.</b> Пространственно-функциональная структура г. Заславля .....	248
<b>Родькин А. С., Телеш И. А.</b> Особенности климата Минска .....	251
<b>Сорокин А. А.</b> Возможности организации набора геосервисов на основе навигационной карты .....	255
<b>Табальчук Т. Г.</b> Исследование внутримассовых конвективных процессов с использованием системы мезомасштабного моделирования погоды .....	259

#### ИНСТИТУТ БИЗНЕСА И МЕНЕДЖМЕНТА ТЕХНОЛОГИЙ

<b>Анищенко А. И.</b> Анализ эффективности применения теле- и интернет маркетинга при выведении на рынок нового продукта .....	263
<b>Боярин А. С.</b> Проблемы диверсификации и перспективы использования альтернативных возобновляемых источников энергии в Республике Беларусь .....	266
<b>Гордеев Ю. Ю.</b> Использование CRM-технологий в бизнесе .....	270
<b>Гоцкая Т. А.</b> Методы оптимизации систем управления логистических структур .....	274
<b>Кузнецова О. М.</b> Управление проектом по автоматизации деятельности предприятия .....	277
<b>Лущиков А. М.</b> Разработка базы данных компании по продаже мобильных телефонов .....	280
<b>Маслова К. В.</b> Антикризисные инструменты для повышения конкурентоустойчивости в бизнесе (на примере банковского сектора РБ) .....	284
<b>Онищенко Д. И.</b> Моделирование экономической безопасности Республики Беларусь с использованием международного опыта .....	287
<b>Шестак Т. Е.</b> Финансовый контроль как способ управления предприятием...	292