



# ЕСТЕСТВЕННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

*Сборник статей по материалам  
IX-X международной научно-практической конференции*

№ 9-10 (10)  
Октябрь 2013 г.

Издается с декабря 2012 года

Новосибирск  
2013

УДК 50  
ББК 20  
Е 86

Ответственный редактор: Гулин А.И.

Председатель редакционной коллегии:

**Козьминых Владислав Олегович** — д-р хим. наук, проф., заведующий кафедрой химии естественнонаучного факультета Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета.

Редакционная коллегия:

**Ахмеднабиев Расул Магомедович** — канд. техн. наук, доц. Полтавского национального технического университета им. Ю. Кондратюка;

**Гукалова Ирина Владимировна** — д-р геогр. наук, доц. кафедры экономической и социальной географии географического факультета Киевского национального университета им. Т.Шевченко, ведущий научный сотрудник Института географии НАН Украины;

**Ахметов Сайранбек Махсутович** — д-р техн. наук, проф., ректор Казахстанского университета инновационных и телекоммуникационных систем, действительный член (академик) Национальной инженерной академии Республики Казахстан, заместитель председателя Западно-Казахстанского филиала НИА РК;

**Елисеев Дмитрий Викторович** — канд. техн. наук, бизнес-консультант Академии менеджмента и рынка, директор по управленческому консалтингу СРО НП «ДелоТелеКом»;

**Зеленская Татьяна Евгеньевна** — канд. физ.-мат. доц. кафедры высшей математики Югорского государственного университета;

**Романова Алла Александровна** — канд. техн. наук, доц. кафедры прикладной физики Санкт-Петербургского государственного университета сервиса и экономики;

**Рымкевич Павел Павлович** — канд. физ.-мат. доц., проф. кафедры физики Военно-космической академии им. А.Ф.Можайского, чл.-кор. Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы, член Экспертного совета по энергоэффективности зданий и сооружений Санкт-Петербурга;

**Сүлеймен Ерлан Мэлсұлы** — канд. хим. наук, PhD, директор института прикладной химии при Евразийском национальном университете им. Л.Н. Гумилева;

**Харченко Виктория Евгеньевна** — канд. биол. наук, доц. Луганского национального аграрного университета;

**Яковичина Татьяна Федоровна** — канд. с.-хоз. наук, доц., заместитель заведующего кафедрой экологии и охраны окружающей среды Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры, член Всеукраинской экологической Лиги (2011 г.).

## **Е 86 Естественные и математические науки в современном мире.**

№ 9-10 (10) сборник статей по материалам IX-X международной научно-практической конференции. — Новосибирск: Изд. «СибАК», 2013. — 224 с.

Учредитель: НП «СибАК»

Сборник статей «Естественные и математические науки в современном мире» включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

При перепечатке материалов издания ссылка на сборник статей обязательна.

## Оглавление

<b>Секция 1. Математика</b>	<b>9</b>
<b>1.1. Вещественный, комплексный и функциональный анализ</b>	<b>9</b>
ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В МАТЕМАТИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ Богун Виталий Викторович	9
<b>1.2. Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление</b>	<b>14</b>
ОБ ОДНОЙ МНОГОТОЧЕЧНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧЕ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА Митрохин Сергей Иванович	14
АСИМПТОТИКА РЕШЕНИЯ СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННОГО ОБЫКНОВЕННОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ С ДВУМЯ ТОЧКАМИ ПОВОРОТА В КОМПЛЕКСНОЙ ПЛОСКОСТИ Турсунов Дилмурат Абдиллажанович	24
АСИМПТОТИКА РЕШЕНИЯ СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННОГО ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ С КРАТНОЙ ТОЧКОЙ ПОВОРОТА ВНУТРИ ОБЛАСТИ Турсунов Дилмурат Абдиллажанович	31
<b>1.3. Математическая физика</b>	<b>39</b>
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ АВТОМОБИЛЯ И СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ Погодин Александр Вячеславович Анучин Илья Евгеньевич Тумасов Антон Владимирович Катаева Лилия Юрьевна Масленников Дмитрий Александрович	39

<b>1.4. Теория вероятностей и математическая статистика</b>	<b>46</b>
РАЗЛИЧНЫЕ СТАТИСТИКИ В ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ СХЕМЕ Нуртаева Дана Калдыбаевна	46
<b>Секция 2. Информационные технологии</b>	<b>64</b>
<b>2.1. Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления</b>	<b>64</b>
ТЕХНОЛОГИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ И ВИРТУАЛЬНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ ПИС-КОНТРОЛЛЕРОВ В АВТОМАТИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ Абузяров Владимир Николаевич Щудро Игорь Анатольевич Елисеев Владимир Николаевич	64
<b>2.2. Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей</b>	<b>71</b>
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОТЛАДКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ Волосенков Владимир Олегович	71
<b>2.3. Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети</b>	<b>76</b>
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ АЛГОРИТМА «СКОЛЬЗЯЩЕГО» ОКНА ЦВЕТНЫМИ ВРЕМЕННЫМИ СЕТЯМИ ПЕТРИ Коннов Николай Николаевич Домнин Александр Львович	76
<b>2.4. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ</b>	<b>82</b>
МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРАДИЕНТНОГО ВОЛОКОННОГО СВЕТОВОДА МНОГОСЛОЙНЫМ Андросик Андрей Борисович Воробьев Сергей Андреевич Мировицкая Светлана Дмитриевна	82

ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛИ ЛЕОНТЬЕВА В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ Воропанов Сергей Алексеевич	92
РАЗРАБОТКА ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ШКАЛЫ ОЦЕНКИ ТЯЖЕСТИ СОСТОЯНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ОСТРОЙ ПОЧЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ Карякина Ольга Евгеньевна Карякин Алексей Андреевич Кузьков Всеволод Владимирович Низовцев Николай Владимирович Яковлева Яна Викторовна	99
АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЁТА ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ Клименко Елена Васильевна	107
<b>Секция 3. Физика</b>	<b>112</b>
<b>3.1. Механика жидкости, газа и плазмы</b>	<b>112</b>
АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ И ПРЕДЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО МНОЖИТЕЛЯ, ПРИ ПИРОЛИЗЕ ДРЕВЕСИНЫ В ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ, ОТ ПРОЦЕНТНОГО СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА Лощилов Сергей Андреевич Катаева Лилия Юрьевна Лощилов Александр Андреевич	112
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО КАВИТАЦИОННОГО СМЕСИТЕЛЯ Прохасько Любовь Савельевна Ярмаркин Дмитрий Александрович	117
<b>3.2. Теоретическая физика</b>	<b>122</b>
РАСЧЕТ МИГРАЦИИ ЗАРЯДА ПО ЦЕПИ ДНК С УЛУЧШЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ Бойда Денис Леонидович Подоба Диана Александровна Ширмовский Сергей Эдуардович	122

<b>3.3. Теплофизика и теоретическая теплотехника</b>	<b>130</b>
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ДОЗИРОВАНИЯ ТВЕРДОФАЗНЫХ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ РЕАГЕНТОВ	130
Нелюбов Дмитрий Владимирович	
<b>Секция 4. Биология</b>	<b>134</b>
<b>4.1. Биогеоценология</b>	<b>134</b>
СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФАУНЫ ОРИБАТИД В ЛУГОВЫХ БИОЦЕНОЗАХ ПОДТАЙГИ И СРЕДНЕЙ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	134
Казанцев Павел Александрович Алеева Виктория Николаевна	
<b>4.2 Биологические аспекты сельского     хозяйства</b>	<b>139</b>
ПИЩЕВАЯ ЦЕННОСТЬ И КУЛИНАРНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЯСНОЙ ПРОДУКЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИОСТИМУЛЯТОРА	139
Губер Наталья Борисовна Переходова Елена Андреевна	
<b>4.3. Ботаника</b>	<b>144</b>
АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ НАДЗЕМНЫХ ОРГАНОВ ZIZIPHORA CLINOPODIOIDES LAM. ИЗ КАЗАХСТАНА	144
Ишмуратова Маргарита Юлаевна Сүлеймен Ерлан Мэлсұлы	
АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ THYMUS MARSCHALLIANUS WILLD. ИЗ КАЗАХСТАНА	151
Ишмуратова Маргарита Юлаевна Сүлеймен Ерлан Мэлсұлы	
TRICHORMUS AZOLLAE STRASBURGER J. KOM. ET K. ANAGN. (NOSTOCACEAE) — НОВЫЙ ВИД ДЛЯ АЛЬГОФЛОРЫ КАВКАЗА	157
Ибрагимов Алияр Шахмардан оглы Набиева Фатмаханум Халид кызы	

<b>4.4. Микробиология и вирусология</b>	<b>164</b>
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ФАГОВОЙ ТЕРАПИИ В КИШЕЧНИКЕ МЫШИ	164
Зимин Андрей Антонович Васильева Елена Леонидовна Панченко Наталья Александровна Дьяченко Игорь Александрович Мурашев Аркадий Николаевич	
<b>4.5. Токсикология</b>	<b>169</b>
СПОСОБ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО СЫРЬЯ И ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ	169
Боган Владимир Иванович Гайсина Алина Раисовна	
<b>4.6. Экология и природопользование</b>	<b>175</b>
СОСТОЯНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ В МЕСТАХ ВОДОЗАБОРА И ИСТОЧНИКОВ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ	175
Джавадов Абульфат Калвалы-оглы	
<b>Секция 5. Химия</b>	<b>180</b>
<b>5.1. Высокомолекулярные соединения</b>	<b>180</b>
РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР КИСЛОТНЫХ МОЮЩИХ СРЕДСТВ	180
Анохина Екатерина Сергеевна Ребезов Максим Борисович Нагибина Виктория Викторовна	
ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТНОЙ ПЛЕНКИ	184
Бондаренко Янина Валентиновна	
<b>5.2. Физическая химия</b>	<b>189</b>
МЕТИЛЛИНОЛЕАТНАЯ КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ АНТИОКСИДАНТНЫХ СВОЙСТВ КАПОТЕНА	189
Перевозкина Маргарита Геннадьевна	

<b>Секция 6. Науки о Земле</b>	<b>205</b>
<b>6.1. Общественная география</b>	<b>205</b>
МЕТОД ТОПОНИМИЧЕСКОГО КОНТЕКСТА К.Н. ТИЩЕНКО В ГЕОГРАФИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ТОПОНИМИЧНО-КУЛЬТУРОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ЧЕРНИГОВСКОЙ ОБЛАСТИ УКРАИНЫ Армашевская Татьяна Владимировна	205
ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГРАНИЦ НИЖНЕВАРТОВСКОГО РАЙОНА (ЮГРА) Соколов Сергей Николаевич	212
<b>6.2. Картография и геоинформатика</b>	<b>219</b>
ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ СВЯЗЕЙ Ляшенко Дмитрий Алексеевич	219



## СЕКЦИЯ 1.

### МАТЕМАТИКА

#### 1.1. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ, КОМПЛЕКСНЫЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

#### ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В МАТЕМАТИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

*Богун Виталий Викторович*

*канд. пед. наук, доцент кафедры математического анализа  
Ярославского государственного педагогического университета  
им. К.Д. Ушинского,  
г. Ярославль  
E-mail: [vvvital@mail.ru](mailto:vvvital@mail.ru)*

#### THE OBJECT-ORIENTED APPROACH IN THE MATHEMATICAL ANALYSIS

*Vitaly Bogun*

*candidate of Science, assistant professor of chair of the mathematical  
analysis of the Yaroslavl state pedagogical university of K.D. Ushinsky,  
Yaroslavl*

#### АННОТАЦИЯ

Рассмотрено применение объектно-ориентированного подхода в программировании применительно к информатике и в рамках математического анализа с точки зрения математики. Представлены детальное описание алгоритма работы программы и нахождение интегралов с точки зрения объектно-ориентированного подхода.

## ABSTRACT

Application of the object-oriented approach in programming with reference to computer science and within the limits of the mathematical analysis from the point of view of mathematics is considered. The detailed description of algorithm of work of the program and a finding of integrals from the point of view of the object-oriented approach are presented.

**Ключевые слова:** объектно-ориентированный подход; программирование; математический анализ.

**Keywords:** The object-oriented approach; programming; the mathematical analysis.

В настоящее время при информационном рассмотрении любого изучаемого процесса или явления применяется объектно-ориентированный подход (ООП), суть которого заключается в разделении рассматриваемого конечного множества объектов, которые выделяются в результате моделирования данного процесса в силу их существенного влияния на процесс или явление, на определенное количество классов объектов. Все объекты в рамках одного класса обладают единым строго определенным набором статических свойств (атрибутов), характеризующих существенные признаки объектов, и динамических свойств (событий, являющихся реакциями на реализуемые действия), характеризующих поведение объектов. Объекты в рамках одного класса могут различаться или совпадать в плане значений атрибутов или алгоритмами, а также результатами реализации событий [6, 4].

С точки зрения информационных процессов можно рассмотреть реализацию объектно-ориентированного подхода применительно к решению задачи по расчету и выводу результатов сложения и умножения двух вводимых пользователем целых чисел (рис. 1).



*Рисунок 1. Реализация объектно-ориентированного подхода при решении информационной задачи*

Как видно из рисунка, можно выделить три класса объектов в рамках программы (текстовые надписи, текстовые поля и кнопки), для которых в таблице 1 указаны статические и динамические свойства.

**Таблица 1.**

**Описание статических и динамических свойств объектов  
в рамках информационной задачи**

<b>Классы объектов</b>					
Класс 1 «Текстовые поля»				Класс 2 «Кнопки»	
Объект 1 (ТП 1)	Объект 2 (ТП 2)	Объект 3 (ТП 3)	Объект 4 (ТП 4)	Объект 1 (КН 1)	Объект 2 (КН 2)
<b>Статические свойства (атрибуты)</b>					
Атрибут 1: Тип объекта Атрибут 2: Имя объекта				Атрибут 1: Тип объекта Атрибут 2: Значение надписи на кнопке	
<b>Динамические свойства (действия)</b>					
Действия не являются необходимыми				Действие 1: Нажатие на кнопку (обработка события)	
<b>Механизмы для реализации динамических свойств (действий)</b>					
Отсутствует необходимость применения событий				1. Получение значений исходных данных из текстовых полей (ТП 1 и ТП 2). 2. Расчет суммы и произведения чисел. 3. Вывод значений результатов в текстовые поля (ТП 3 и ТП 4).	1. Изменение значений во всех текстовых полях на значения по умолчанию (ТП 1, ТП 2, ТП 3 и ТП 4).

Алгоритм работы программы заключается в том, что при указании значений исходных данных в текстовых полях формы (ТП 1 и ТП 2) и последующем нажатии кнопки реализации расчетов (КН 1) благодаря применению соответствующей функции для комплексной обработки информации осуществляется получение исходных данных из текстовых полей, расчет суммы и произведения чисел и вывод результатов расчетов также в соответствующие поля формы (ТП 2 и ТП 4). При активации кнопки обновления значений (КН 2)

осуществляется изменение значений в текстовых полях формы до значений по умолчанию.

Однако объектно-ориентированный подход можно применить и при решении задач по математике в общем и математическому анализу в частности. Например, при рассмотрении раздела «Интегрирование функций» в математическом анализе можно всё множество интегралов свести к определенному количеству классов объектов: неопределенные, определенные, собственные и несобственные интегралы [1, 4—6].

В данном случае интегралы можно представить классификацию интегралов по статическим (например, неопределенные и определенные интегралы) и динамическим свойствам, отражающихся в применении определенных операций над интегралами определенного класса, что отражено в таблице 2.

**Таблица 2.**

**Применение объектно-ориентированного подхода к интегралам**

<b>Классы объектов</b>			
<b>Класс 1</b>		<b>Класс 2</b>	
<b>«Неопределенные интегралы»</b>		<b>«Определенные интегралы»</b>	
Объект 1 (Интеграл 1) $\int x \cos x dx$	Объект 2 (Интеграл 2) $\int (\sin x + x^2) dx$	Объект 1 (Интеграл 1) $\int_{-2}^3 3x^2 dx$	Объект 2 (Интеграл 2) $\int_0^{\pi} tg x dx$
<b>Статические свойства (атрибуты)</b>			
Атрибут 1: Наименование переменной интегрирования. Атрибут 2: Выражение подинтегральной функции		Атрибут 1: Наименование переменной интегрирования. Атрибут 2: Выражение подинтегральной функции Атрибут 3: Значение нижнего предела интегрирования Атрибут 4: Значение нижнего предела интегрирования	
<b>Динамические свойства (действия)</b>			
Действие 1: Нахождение неопределенного интеграла с применением различных методов		Действие 1: Нахождение неопределенного интеграла с применением различных методов Действие 2: Подстановка значений верхнего и нижнего пределов интегрирования	

Таким образом, в рамках как информационных технологий при реализации программирования различных, так и при рассмотрении решения математических задач в рамках математического анализа, может применяться объектно-ориентированный подход, который позволяет четко разложить исследуемый процесс с точки зрения конечного множества объектов в рамках задачи на классы объектов с обозначенными статическими и динамическим свойствами.

### **Список литературы:**

1. Богун В.В., Смирнов Е.И. Лабораторный практикум с графическим калькулятором [Текст]: учеб. пособие. Ярославль: Изд-во «Канцлер», 2010. — 272 с.
2. Веллинг, Люк, Томсон, Лора. Разработка Web-приложений с помощью PHP и MySQL, 2-е издание.: Пер. с англ. [Текст]: М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. — 800 с.: ил. — Парал. тит. англ.
3. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике [Текст] М.: ООО «Большая Медведица», 2001 — 864 с.
4. Ермаков В.И. Общий курс высшей математики для экономистов [Текст] / В.И. Ермаков. М.: Инфра-М, 2008. — 656 с.
5. Кожухов И.Б., Прокофьев А.А. Справочник по математике [Текст] М.: «Лист», 1999. — 640 с.
6. Колисниченко Д.Н. Самоучитель PHP 5 [Текст]: СПб.: Наука и техника, 2007. — 640 с., ил.

## **1.2. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ, ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ**

### **ОБ ОДНОЙ МНОГОТОЧЕЧНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧЕ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА**

*Митрохин Сергей Иванович*

*канд. физ.-мат. наук, доцент, старший научный сотрудник НИВЦ*

*МГУ им. М.В. Ломоносова,*

*г. Москва*

*E-mail: [Mitrokhin-sergey@yandex.ru](mailto:Mitrokhin-sergey@yandex.ru)*

### **ABOUT ONE MULTIPOINT BOUNDARY VALUE PROBLEM OF HIGH-ORDER**

*Sergey Mitrohin*

*candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor,*

*senior research scientist of Research Computing Center of M.V. Lomonosov*

*Moscow State University,*

*Moscow*

#### **АННОТАЦИЯ**

В работе изучена краевая задача для дифференциального оператора нечётного порядка с суммируемым потенциалом с нерегулярными граничными условиями. Получено уравнение на собственные значения, изучена индикаторная диаграмма, выведена асимптотика собственных значений изучаемой краевой задачи.

#### **ABSTRACT**

The article studies a boundary value problem for a differential operator of odd order with summable potential with irregular boundary conditions. An equation on eigenvalues was established; an indicator diagram was studied; asymptotics of eigenvalues of the boundary value problem in question was found.

**Ключевые слова:** Дифференциальный оператор, краевая задача, индикаторная диаграмма, собственные значения, асимптотика решений.

**Keywords:** differential operator; boundary value problem; indicator diagram; eigenvalues; asymptotics of solutions.

Изучим следующую краевую задачу для дифференциального оператора седьмого порядка:

$$y^{(7)}(x) + q(x) \cdot y(x) = \lambda \cdot a^7 \cdot y(x), \quad 0 \leq x \leq \pi, \quad a > 0, \quad (1)$$

с многоточечными граничными условиями

$$y(0) = y\left(\frac{\pi}{6}\right) = y\left(\frac{2\pi}{6}\right) = y\left(\frac{3\pi}{6}\right) = y\left(\frac{4\pi}{6}\right) = y\left(\frac{5\pi}{6}\right) = y\left(\frac{6\pi}{6}\right) = 0, \quad (2)$$

в предположении, что потенциал  $q(x)$  является суммируемой функцией на отрезке  $[0; \pi]$ :  $q(x) \in L_1[0; \pi] (= \left( \int_0^x q(t) dt \right)'_x = q(x))$  почти всюду на отрезке  $[0; \pi]$ . (3)

Пусть  $\lambda = s^7$ ,  $s = \sqrt[7]{\lambda}$ , причём зафиксируем ту ветвь арифметического корня, для которой  $\sqrt[7]{1} = +1$ . Пусть  $w_k^7 = 1$ , т. е.  $w_k$  ( $k = 1, 2, \dots, 7$ ) — различные корни седьмой степени из единицы:

$$\begin{aligned} w_k &= e^{\frac{2\pi i}{7}(k-1)}, \quad k = 1, 2, \dots, 7; \quad w_k = B_k + i \cdot D_k; \quad B_1 = 1; \quad B_2 = \\ &= B_7 = \cos\left(\frac{2\pi}{7}\right) \approx 0,62349; \quad B_3 = B_6 = \cos\left(\frac{4\pi}{7}\right) \approx -0,22252; \quad B_4 = \\ &= B_5 = \cos\left(\frac{6\pi}{7}\right) \approx -0,90097; \quad D_1 = 0; \quad D_2 = -D_7 = \sin\left(\frac{2\pi}{7}\right) \approx 0,78183; \\ D_3 &= -D_6 = \sin\left(\frac{4\pi}{7}\right) \approx 0,97493; \quad D_4 = \\ &= -D_5 = \sin\left(\frac{6\pi}{7}\right) \approx 0,43388; \quad w_5 = \overline{w_4}, \quad w_6 = \overline{w_3}, \quad w_7 = \overline{w_2}. \end{aligned} \quad (4)$$

Впервые дифференциальные операторы (второго порядка) с суммируемым потенциалом изучались в работах [1], [2].

Методами работ [3—5] доказывается следующее утверждение.

Теорема 1. Общее решение дифференциального уравнения (1) имеет следующий вид:

$$y(x, s) = \sum_{k=1}^7 C_k \cdot y_k(x, s); y^{(m)}(x, s) = \sum_{k=1}^7 C_k \cdot y_k^{(m)}(x, s), m = 1, 2, \dots, 6, \quad (5)$$

где:  $C_k (k = 1, 2, \dots, 7)$  — произвольные постоянные, причём при  $|s| \rightarrow +\infty$  справедливы следующие асимптотические формулы:

$$y_k(x, s) = e^{aw_k sx} - \frac{1}{7a^6 s^6} \cdot A_{6k}(x, s) + \underline{O}\left(\frac{e^{|\operatorname{Im} s| \cdot x}}{s^{12}}\right), k = 1, 2, \dots, 7, \quad (6)$$

$$A_{6k}(x, s) = \sum_{n=1}^7 w_n \cdot e^{aw_n sx} \cdot \int_0^x q(t) \cdot e^{a(w_k - w_n)st} dt_{akn}, k = 1, 2, \dots, 7, \quad (7)$$

$$\frac{y_k^{(m)}(x, s)}{(as)^m} = w_k^m \cdot e^{aw_k sx} - \frac{1}{7a^6 s^6} \cdot A_{6k}^m(x, s) + \underline{O}\left(\frac{e^{|\operatorname{Im} s| \cdot x}}{s^{12}}\right), m = 1, 2, \dots, 6, \quad (8)$$

$$A_{6k}^m(x, s) = \sum_{n=1}^7 w_n \cdot w_n^m \cdot e^{aw_n sx} \cdot \int_0^x q(t) \cdot e^{a(w_k - w_n)st} dt_{akn}, m = 1, 2, \dots, 6; k = 1, 2, \dots, 7. \quad (9)$$

Из формул (7)—(9) видно, что

$$A_{6k}(0, s) = 0, A_{6k}^m(0, s) = 0, y_k(0, s) = 1; k = 1, 2, \dots, 7; m = 1, 2, \dots, 6. \quad (10)$$

Из формул (5) – (10), используя граничные условия (2), получаем:

$$y\left(\frac{\pi}{6} \cdot (k-1)\right)^{(2)} = 0 \quad (k = 1, 2, \dots, 7) \quad (=) \sum_{n=1}^7 C_n \cdot y_n\left(\frac{\pi}{6} \cdot (k-1)\right) = 0 \quad (k = 1, 2, \dots, 7). \quad (11)$$



Система (11) — однородная система из семи линейных уравнений с семью неизвестными  $C_1, C_2, \dots, C_7$ . Из метода Крамера

следует, что такая система имеет ненулевое решение  $\left(\sum_{k=1}^7 C_k^2 \neq 0\right)$

только в том случае, когда её определитель равен нулю. Поэтому справедлива следующая теорема.

Теорема 2. Уравнение на собственные значения краевой задачи (1)—(2) с условием суммируемости потенциала (3) имеет следующий вид:

$$f(s) = \begin{vmatrix} y_1(0, s) & y_2(0, s) & \dots & y_6(0, s) & y_7(0, s) \\ y_1\left(\frac{\pi}{6}, s\right) & y_2\left(\frac{\pi}{6}, s\right) & \dots & y_6\left(\frac{\pi}{6}, s\right) & y_7\left(\frac{\pi}{6}, s\right) \\ y_1\left(\frac{2\pi}{6}, s\right) & y_2\left(\frac{2\pi}{6}, s\right) & \dots & y_6\left(\frac{2\pi}{6}, s\right) & y_7\left(\frac{2\pi}{6}, s\right) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_1\left(\frac{6\pi}{6}, s\right) & y_2\left(\frac{6\pi}{6}, s\right) & \dots & y_6\left(\frac{6\pi}{6}, s\right) & y_7\left(\frac{6\pi}{6}, s\right) \end{vmatrix} = 0, \quad (12)$$

причём асимптотики функций  $y_k(x, s)$  определены формулами (6)—(10).

Подставляя формулы (6)—(7) в уравнение (12), разлагаем определитель  $f(s)$  на сумму определителей по столбцам, находим:

$$f(s) = f_0(s) - \frac{1}{7a^6 s^6} f_6(s) + \mathcal{O}\left(\frac{1}{s^{12}}\right) = 0, \quad (13)$$

где

$$f_0(s) = \begin{vmatrix} z^{0w_1} & z^{0w_2} & z^{0w_3} & \dots & z^{0w_6} & z^{0w_7} \\ z^{1w_1} & z^{1w_2} & z^{1w_3} & \dots & z^{1w_6} & z^{1w_7} \\ z^{2w_1} & z^{2w_2} & z^{2w_3} & \dots & z^{2w_6} & z^{2w_7} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ z^{6w_1} & z^{6w_2} & z^{6w_3} & \dots & z^{6w_6} & z^{6w_7} \end{vmatrix}, \quad (14)$$

$f_6(s) = \sum_{k=1}^7 f_{6k}(s)$ , где  $f_{6k}(s)$  получается из определителя  $f_0(s)$  из (14) заменой  $k$ -го столбца на столбец  $\left( A_{6k}(0, s), A_{6k}\left(\frac{\pi}{6}, s\right), A_{6k}\left(\frac{2\pi}{6}, s\right), \dots, A_{6k}\left(\frac{6\pi}{6}, s\right) \right)^*$ , при этом в (14) введено обозначение

$$z = e^{\frac{\pi}{6}s} \neq 0, z^{w_k} = e^{\frac{aw_k s}{6}}. \quad (15)$$

Основное приближение уравнения (13)—(15) имеет вид  $f_0(s) = 0$ . (16)

По правилам вычисления определителей имеем:

$$\begin{aligned}
 f_0(s) = & z^{0w_1+1w_2+2w_3+3w_4+4w_5+5w_6+6w_7} \cdot (-1)^0 + \\
 & + (-1)^1 \cdot z^{0w_1+1w_2+2w_3+3w_4+4w_5+5w_7+6w_6} + \dots = 0,
 \end{aligned} \quad (17)$$

при этом коэффициент  $(-1)^0$ , т. к. перестановка чисел (0123456) четная, коэффициент  $(-1)^1$  в силу того, что перестановка чисел (0123465) нечётная.

В общем виде уравнение (14)—(17) можно выписать в следующем виде:

$$f_0(s) = \sum_{\{\gamma_k\}} z^{M_k} \cdot (-1)^{\text{sign}(\gamma_k)} (k = 1, 2, \dots, 7) = 0, \quad (18)$$

где:  $M_k = \gamma_1 w_1 + \gamma_2 w_2 + \dots + \gamma_7 w_7$ ,  $\text{sign}(\gamma_k)$  — знак перестановки чисел  $(\gamma_1 \gamma_2 \dots \gamma_7)$ , при этом  $\gamma_k \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ ,  $\gamma_m \neq \gamma_n$  при  $m \neq n$ ;  $m, n \in \{1, 2, \dots, 7\}$ .

Из общей теории нахождения асимптотики корней уравнений вида (12)—(13) (см. [6, глава 12]) следует, что необходимо изучить

индикаторную диаграмму уравнения (14) (или, что то же самое, уравнения (18)).

Для изучения индикаторной диаграммы необходимо ответить на два вспомогательных вопроса: 1) когда достигается  $\max(\operatorname{Re}\{M_k\})$  и 2) когда достигается  $\max(\operatorname{Im}\{M_k\})$ ? Имеем:

$$\begin{aligned}
 M_k &= \sum_{n_k=1}^7 \gamma_{n_k} \cdot w_{n_k} \stackrel{(4)}{=} \sum_{a_k=1}^7 (B_{n_k} + iD_{n_k}) \cdot \gamma_{n_k} = \\
 &= \gamma_1 \cdot [1 + 0 \cdot i] + \gamma_2 \cdot \left[ \cos\left(\frac{2\pi}{7}\right) + i \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{7}\right) \right] + \\
 &+ \gamma_3 \cdot \left[ \cos\left(\frac{4\pi}{7}\right) + i \cdot \sin\left(\frac{4\pi}{7}\right) \right] + \dots + \gamma_7 \cdot [B_7 + iD_7] = \\
 &\times \left[ \cos\left(\frac{12\pi}{7}\right) + i \cdot \sin\left(\frac{12\pi}{7}\right) \right] = \operatorname{Re}\{M_k\} + i \operatorname{Im}\{M_k\},
 \end{aligned} \tag{19}$$

при этом в силу формулы (4) получаем:

$$\begin{aligned}
 \operatorname{Re} M_k &= 1 \cdot \gamma_1 + \cos\left(\frac{2\pi}{7}\right) \cdot (\gamma_2 + \gamma_7) + \\
 &+ \cos\left(\frac{4\pi}{7}\right) \cdot (\gamma_3 + \gamma_6) + \cos\left(\frac{6\pi}{7}\right) \cdot (\gamma_4 + \gamma_5) \approx 1 \cdot \gamma_1 + \\
 &+ 0,62349 \cdot (\gamma_2 + \gamma_7) - 0,22252 \cdot (\gamma_3 + \gamma_6) - 0,90097 \cdot (\gamma_4 + \gamma_5),
 \end{aligned} \tag{20}$$

$$\begin{aligned}
 \operatorname{Im} M_k &= 0 \cdot \gamma_1 + \sin\left(\frac{6\pi}{7}\right) \cdot (\gamma_4 - \gamma_5) + \\
 &+ \sin\left(\frac{2\pi}{7}\right) \cdot (\gamma_2 - \gamma_7) + \sin\left(\frac{4\pi}{7}\right) \cdot (\gamma_3 - \gamma_6) \approx 0 \cdot \gamma_1 + \\
 &+ 0,43388 \cdot (\gamma_4 - \gamma_5) + 0,78183 \cdot (\gamma_2 - \gamma_7) + 0,97493 \cdot (\gamma_3 - \gamma_6),
 \end{aligned} \tag{21}$$

причём  $\gamma_k \in \{0,1,2,3,4,5,6\}, k = 1,2,\dots,7$ .

Из формул (19)—(21) нетрудно сообразить, что  $\max(\operatorname{Re}\{M_k\})$  достигается, если  $\gamma_1 = 6, \gamma_{2,7} = 5 \vee 4, \gamma_{3,7} = 3 \vee 2, \gamma_{4,5} = 0 \vee 1$ , (всего 8 комбинаций) и равен он  $\max(\operatorname{Re}\{M_k\}) =$

$$= B_0 = 6 + 9 \cos\left(\frac{2\pi}{7}\right) + 5 \cos\left(\frac{4\pi}{7}\right) + 1 \cos\left(\frac{6\pi}{7}\right),$$

а  $\max(\operatorname{Im}\{M_k\})$  будет в случае  $\gamma_3 = 6, \gamma_6 = 0, \gamma_2 = 5, \gamma_7 = 1, \gamma_4 = 4, \gamma_5 = 2, \gamma_1 = 3$  и равен он

$$\max(L_m\{M_k\}) = D_0 = 0 + 2 \sin\left(\frac{6\pi}{7}\right) + 4 \sin\left(\frac{2\pi}{7}\right) + 6 \sin\left(\frac{4\pi}{7}\right)$$

(всего одна точка). Изучая эти восемь комбинаций, получаем вертикальный отрезок индикаторной диаграммы уравнения (18): точки  $A_1(B_0; -2,18), A_2(B_0; -1,32), A_3(B_0; -0,62), A_4(B_0; -0,24), A_5(B_0; 0,24), A_6(B_0; 0,62), A_7(B_0; 1,32), A_8(B_0; 2,18)$ ,

где  $B_0 = 6 + 9 \cos\left(\frac{2\pi}{7}\right) + 5 \cos\left(\frac{4\pi}{7}\right) + 1 \cos\left(\frac{6\pi}{7}\right) = \max(\operatorname{Re}\{M_k\}) \approx 9,58$ ,

при этом эти точки соответствуют таким перестановкам чисел  $(\gamma_1 \gamma_2 \dots \gamma_7)$ :  $A_1 \leftrightarrow (6420135), A_2 \leftrightarrow (6421035), A_3 \leftrightarrow (6520134), A_4 \leftrightarrow (6430125), A_5 \leftrightarrow (6521034), A_6 \leftrightarrow (6431025), A_7 \leftrightarrow (6530124), A_8 \leftrightarrow (6531024)$ .

Понятно, что вторые координаты этих точек вычисляются в точном виде:

$$y_{A_1} = 0 \cdot 6 + \sin\left(\frac{6\pi}{7}\right) \cdot (0 - 1) + \sin\left(\frac{2\pi}{7}\right) \cdot (4 - 5) +$$

$$+ \sin\left(\frac{4\pi}{7}\right) \cdot (2 - 3) \approx -2,18$$

$$y_{A_2} = 0 \cdot 6 + \sin\left(\frac{6\pi}{7}\right) \cdot (1-0) + \sin\left(\frac{2\pi}{7}\right) \cdot (4-5) + \\ + \sin\left(\frac{4\pi}{7}\right) \cdot (2-3) \approx -1,32$$

и т. д.

Точка  $A_9$ , которой соответствует  $\max(\text{Im}\{M_k\})$ , имеет координаты  $A_9(0; D_0)$ , получается при перестановке  $(3564201)$ ,  $D_0 = 2 \sin\left(\frac{6\pi}{7}\right) + 7 \sin\left(\frac{2\pi}{7}\right) + 6 \sin\left(\frac{4\pi}{7}\right) \approx 9,846$ .

Изучая более подробно индикаторную диаграмму, выясняем, что она представляет собой 14-ти-угольник (правильный!!!)  $P_1 P_2 P_3 \dots P_{13} P_{14}$ ,  $P_1$  совпадает с точкой  $A_1$ ,  $P_2$  совпадает с точкой  $A_8$ ,  $P_5$  совпадает с точкой  $A_9$ , причём все эти точки расположены на окружности с центром  $O(0,0)$  и радиусом  $R = \left| \overrightarrow{OA_9} \right|$ .

Из общей теории (см. [6, глава 12]) следует, что корни уравнения на собственные значения (т. е. корни уравнения (13)—(15)) находятся в 14-ти секторах бесконечно малого раствора, биссектрисы которых являются серединными перпендикулярами к сторонам индикаторной диаграммы.

Изучим асимптотику собственных значений в секторе 1), который соответствует вертикальному отрезку индикаторной диаграммы. Из общей теории следует, что справедлива следующая теорема.

Теорема 3. Уравнение на собственные значения в секторе 1) записывается в следующем виде:

$$g_1(s) = z^{A_1} \cdot (-1)^0 + z^{A_2} \cdot (-1)^1 + z^{A_3} \cdot (-1)^1 + z^{A_4} \cdot (-1)^1 + \\ + z^{A_5} \cdot (-1)^0 + z^{A_6} \cdot (-1)^0 + z^{A_7} \cdot (-1)^0 + \\ + z^{A_8} \cdot (-1)^1 = z^{(642013\ddagger)} - z^{(642103\ddagger)} - z^{(652013\ddagger)} - \\ - z^{(643012\ddagger)} + z^{(652103\ddagger)} + z^{(643102\ddagger)} + z^{(653012\ddagger)} - z^{(653102\ddagger)} = 0. \quad (22)$$

Если элементы определителя  $f(s)$  из (12) обозначить  $(b_{mn})$ , где  $m, n = 1, 2, \dots, 7$ , то с помощью формулы (14) обнаруживается следующее соответствие:

$$z^{(642013)} = z^{0w_4+1w_5+2w_3+3w_6+4w_2+5w_7+6w_1} \leftrightarrow b_{14} \cdot b_{25} \cdot b_{33} \cdot b_{46} \cdot b_{52} \cdot b_{67} \cdot b_{71}$$

Поэтому уравнение (22) можно переписать в следующем виде:

$$\begin{aligned} g_1(s) = & b_{14}b_{25}b_{33}b_{46}b_{52}b_{67}b_{71} - b_{15}b_{24}b_{33}b_{46}b_{52}b_{67}b_{71} - \\ & - b_{14}b_{25}b_{33}b_{46}b_{57}b_{62}b_{71} - b_{14}b_{25}b_{36}b_{43}b_{52}b_{67}b_{71} + \\ & + b_{15}b_{24}b_{33}b_{46}b_{57}b_{62}b_{71} + b_{15}b_{24}b_{36}b_{43}b_{52}b_{67}b_{71} + \\ & + b_{14}b_{25}b_{36}b_{43}b_{57}b_{62}b_{71} - b_{15}b_{24}b_{36}b_{43}b_{57}b_{62}b_{71} = 0. \end{aligned} \quad (23)$$

Перегруппировав слагаемые, уравнение (23) можно записать в следующем, более удобном виде:

$$g_1(s) = b_{17} \cdot \begin{vmatrix} b_{14} & b_{15} \\ b_{24} & b_{25} \end{vmatrix}_1 \cdot \begin{vmatrix} b_{33} & b_{36} \\ b_{43} & b_{46} \end{vmatrix}_2 \cdot \begin{vmatrix} b_{52} & b_{57} \\ b_{62} & b_{67} \end{vmatrix}_3 = 0. \quad (24)$$

Таким образом, уравнение (22) на собственные значения в секторе 1) имеет следующие решения:

$$\begin{vmatrix} b_{14} & b_{15} \\ b_{24} & b_{25} \end{vmatrix}_1 = 0, \text{ или } \begin{vmatrix} b_{33} & b_{36} \\ b_{43} & b_{46} \end{vmatrix}_2 = 0, \text{ или } \begin{vmatrix} b_{52} & b_{57} \\ b_{62} & b_{67} \end{vmatrix}_3 = 0. \quad (25)$$

Например, первые из уравнений в (25) можно выписать более подробно:

$$h_1(s) = \begin{vmatrix} b_{14} & b_{15} \\ b_{24} & b_{25} \end{vmatrix}_1 = [b_{14}b_{25} - b_{15}b_{24}]_1 \stackrel{(12)}{=} \begin{bmatrix} y_4(0, s) \cdot y_5\left(\frac{\pi}{6}, s\right) - \\ y_4\left(\frac{\pi}{6}, s\right) \cdot y_5(0, s) \end{bmatrix}_1 \stackrel{(10)}{=} \quad (26)$$

$$\stackrel{(10)}{=} 1 \cdot y_5\left(\frac{\pi}{6}, s\right) - 1 \cdot y_4\left(\frac{\pi}{6}, s\right) = 0.$$

Более подробно уравнение (26) в силу формул (6) – (7) выглядит так:

$$h_1(s) = \left[ e^{aw_5 s \frac{\pi}{6}} - e^{aw_4 s \frac{\pi}{6}} \right] + \frac{1}{7a^6 s^6} \cdot \left[ A_{64} \left( \frac{\pi}{6}, s \right) - A_{65} \left( \frac{\pi}{6}, s \right) \right] + \mathcal{O} \left( \frac{1}{s^{12}} \right) = 0. \quad (27)$$

Изучая уравнение (27) методами работ [3] - [5], доказываем утверждение.

Теорема 4. Асимптотика собственных значений краевой задачи (1)–(2)–(3) в секторе 1) (серия 1) имеет следующий вид:

$$s_{k,1,1} = \frac{6k}{aD_4} + \frac{d_{6k,1,1}}{aD_4 k^6} + \mathcal{O} \left( \frac{1}{k^{12}} \right), \quad D_4 = \frac{w_4 - w_5}{2i} = \sin \left( \frac{6\pi}{7} \right), \quad k \in Z, \quad (28)$$

причём

$$d_{6k,1,1} = \frac{D_4^7}{7\pi \cdot 6^5} \cdot \left[ \int_0^{\frac{\pi}{6}} q(t) dt - \frac{1}{D_4} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{6}} q(t) \sin \left( 12kt + \frac{\pi}{7} \right) dt \right], \quad (29)$$

Формулы, аналогичные формулам (28) и (29), справедливы и для остальных секторов и серий.

В работе [7] изучалась аналогичная задача для оператора четвёртого порядка с гладким потенциалом.

### Список литературы:

1. Винокуров В.А., Садовничий В.А. Асимптотика любого порядка собственных значений и собственных функций краевой задачи Штурма-Лиувилля на отрезке с суммируемым потенциалом // Дифференциальные уравнения. — 1998. — Т. 34, — № 10. — С. 1423—1426.
2. Винокуров В.А., Садовничий В.А. Асимптотика любого порядка собственных значений и собственных функций краевой задачи Штурма-Лиувилля на отрезке с суммируемым потенциалом // Известия РАН. Серия: матем. — 2000. — Т. 64, — № 4. — С. 47—108.

3. Митрохин С.И. Асимптотика собственных значений дифференциального оператора четвёртого порядка с суммируемыми коэффициентами. Вестник Московского университета. Сер.1, математика, механика. — 2009. — № 3. — С. 14—17.
4. Митрохин С.И. Спектральные свойства краевых задач для функционально-дифференциальных уравнений с интегрируемыми коэффициентами. Дифференциальные уравнения, — 2010. — Т. 46, — № 8. — С. 1085—1093.
5. Митрохин С.И. О спектральных свойствах дифференциальных операторов нечётного порядка с суммируемым потенциалом // Дифференциальные уравнения, — 2011. — Т. 47, — № 12. — С. 1808—1811.
6. Беллман Р., Кук К.Л. Дифференциально-разностные уравнения. М.: Мир, 1967. — 548 с.
7. Балабасси Ю. Регуляризованный след многоточечной задачи // Вестник Московского университета. Серия: математика. — 1981. — № 2. — С. 35—41.

**АСИМПТОТИКА РЕШЕНИЯ  
СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННОГО  
ОБЫКНОВЕННОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО  
УРАВНЕНИЯ С ДВУМЯ ТОЧКАМИ ПОВОРОТА  
В КОМПЛЕКСНОЙ ПЛОСКОСТИ**

*Турсунов Дилмурат Абдиллажанович*  
канд. физ.-мат. наук, доцент ОшГУ,  
г. Ош  
E-mail: [dosh2012@mail.ru](mailto:dosh2012@mail.ru)

**ASYMPTOTICS OF SOLUTIONS  
OF SINGULARLY PERTURBED ORDINARY  
DIFFERENTIAL EQUATIONS  
WITH TWO TURNING POINTS  
IN THE COMPLEX PLANE**

*Dilmurat Tursunov*  
candidate of physics and mathematics sciences, associate professor  
of Osh State University, Osh



## АННОТАЦИЯ

Целью данной работы является построить равномерную асимптотику решения обыкновенных дифференциальных уравнений с простой точкой поворота в комплексной плоскости, когда нарушается условие асимптотической устойчивости. Для оценки интегралов применяется метод стационарной фазы и метод перевалов. Построена равномерная асимптотика решения поставленной задачи. Асимптотика решения рассматриваемой задачи существенно зависит от неоднородной части рассматриваемого уравнения.

## ABSTRACT

The aim of this paper is to construct a uniform asymptotic solution of ordinary differential equations with a simple turning point in the complex plane when a condition of asymptotic stability is violated. The method of stationary phase and the passes method are used to evaluate the integrals. The uniform asymptotic solution of the problem was constructed. Asymptotic of the solution of the problem essentially depends on the inhomogeneous part of the equation.

**Ключевые слова:** асимптотика; точка поворота; условия устойчивости; стационарная фаза; точка перевала; малый параметр.

**Keywords:** asymptotic; turning point; stability conditions; stationary phase; passes point; small parameter.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ по проекту № 13-01-90903 мол\_ин\_нр*

Теорию запаздывания потери устойчивости в системах общего вида построены в работах А.И. Нейштадта [2]. Далее появились работы [1], [3] и др. Численными и аналитическими методами явление запаздывание потери устойчивости изучалось в системах, встречающихся в физике лазеров, химической кинетике, биофизике, в модифицированной системе Циглера и в моделировании безопасных процессов горения с максимальной температуры. Во всех этих перечисленных работах невозмущенное (предельное) уравнение имеет тривиальное, т.е. гладкое решение в рассматриваемой области. В нашем случае решение предельного уравнения имеет особенность.

Рассмотрим задачу

$$\varepsilon x'(t, \varepsilon) = A(t)x(t, \varepsilon) + f(t), \quad (1)$$

$$x(t_0, \varepsilon) = x^0, \quad (2)$$

где:  $A(t)$  – квадратная матрица-функция второго порядка с элементами  $a_{jk}(t)$ ,  $f(t) = \text{colon}\{f_1(t), f_2(t)\}$ ,

$a_{jk}(t), f_k(t)$  – аналитические функции в  $D$ ,

$x^0 = \text{colon}\{x_1^0, x_2^0\}$  – постоянный вектор,  $t \in D, t = t_1 + it_2$ .

**U<sub>1</sub>**. Пусть матрица-функция  $A(t)$  имеет комплексно-сопряженные собственные значения  $\lambda_{1,2}(t) = \sin t \pm i a \cos t$ ,  $a > 1$ , и  $t_0 = -\pi/2$ .

**U<sub>2</sub>**. Пусть  $f_1(-\pi/2, -\alpha) \neq 0, f_1(\pi/2, -\alpha) \neq 0, f_2(-\pi/2, \alpha) \neq 0, f_2(\pi/2, \alpha) \neq 0$ .

В рассматриваемом случае каждое собственное значение имеет по две простых периодических нулей в комплексной плоскости. Исследуемая область является прямоугольником, и нули собственных значений матрицы-функции  $A(t)$  находятся на вершинах этого прямоугольника. Такой случай рассматривается впервые. Требуется построить асимптотику решения задачи (1)–(2) в области  $D \supset [-\pi/2, \pi/2]$ , при  $\varepsilon \rightarrow 0$ .

Для приведения  $A(t)$  к диагональному виду выполняем следующее преобразование:  $B_0^{-1}(t)A(t)B_0(t) = D(t)$ ,

$$\text{где } A(t) = \begin{pmatrix} a_{11}(t) & a_{12}(t) \\ a_{21}(t) & a_{22}(t) \end{pmatrix},$$

$$B_0(t) = \begin{pmatrix} \lambda_1(t) - a_{22}(t) & \lambda_2(t) - a_{22}(t) \\ a_{21}(t) & a_{21}(t) \end{pmatrix}, D(t) = \text{diag}(\lambda_1(t), \lambda_2(t)).$$

Пусть в области  $D$  выполняется неравенство  $\det B_0(t) \neq 0$ .

**Задача (1)–(2) с заменой  $x(t, \varepsilon) = B_0(t)y(t, \varepsilon)$  принимает вид:**

$$\varepsilon y'(t, \varepsilon) = D(t)y(t, \varepsilon) + \varepsilon B(t)y(t, \varepsilon) + h(t), \quad (3)$$

$$y(t_0, \varepsilon) = y^0, \quad (4)$$

где  $B(t) = -B_0^{-1}(t)B_0'(t)$ ,  $y^0 = B_0^{-1}(t_0)x^0$ ,  $h(t) = B_0^{-1}(t)f(t)$ .

Задачу Коши для дифференциальных уравнений (3)–(4) заменим интегральным уравнением:

$$z(t, \varepsilon) = \varepsilon E(t, t_0, \varepsilon)y^0 + \int_{t_0}^t E(t, \tau, \varepsilon)(B(\tau)z(\tau, \varepsilon) + h(\tau))d\tau. \quad (5)$$

где  $z(t, \varepsilon) = y(t, \varepsilon)\varepsilon$ ,  $E(t, \tau, \varepsilon) = \exp\left(\frac{1}{\varepsilon} \int_{\tau}^t D(s) ds\right)$ .

В работе [4] нами доказана

**Теорема.** Если для интеграла

$$\int_{t_0}^t E(t, \tau, \varepsilon) h(\tau) d\tau, \quad (6)$$

в некоторой области  $D$  справедлива оценка

$$\left\| \int_{t_0}^t E(t, \tau, \varepsilon) h(\tau) d\tau \right\| \leq c\delta(\varepsilon), \quad \text{где} \quad \varepsilon \leq c\delta(\varepsilon) < 1, \quad \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \delta(\varepsilon) = 0,$$

то для решения системы интегральных уравнений (5) справедлива оценка  $\|z(t, \varepsilon)\| \leq c\delta(\varepsilon)$ .

Значит, достаточно вычислить асимптотику интеграла (6), при условиях  $U_1$  и  $U_2$ . Рассмотрим собственные значения

$\operatorname{Re}(\lambda_1(t_1, 0)) = \operatorname{Re}(\lambda_2(t_1, 0)) = \sin t_1$ ;  $\operatorname{Re}(\lambda_{1,2}(t_1, 0)) < 0$  — устойчивый интервал, при  $-\pi + 2\pi k < t_1 < 2\pi k$ ;  $\operatorname{Re}(\lambda_{1,2}(t_1, 0)) > 0$  — неустойчивый интервал, при  $2\pi k < t_1 < \pi + 2\pi k$ ;

$\operatorname{Re}(\lambda_{1,2}(t_1, 0)) = 0$ , при  $t_1 = \pi k$ ,  $k \in \mathbf{Z}$ .

Отметим, что  $(\pi/2 + \pi k, -\alpha)$  и  $(\pi/2 + \pi k, \alpha)$ , где  $\alpha = \ln \sqrt{\frac{a+1}{a-1}} > 0$

$k \in \mathbf{Z}$ , являются нулями собственных значений  $\lambda_1(t_1, t_2)$  и  $\lambda_2(t_1, t_2)$  соответственно.

Рассмотрим теперь функции:  $u_1(t) = \int \lambda_1(t) dt$ ,  $u_2(t) = \int \lambda_2(t) dt$ .

Если  $t = t_1 + it_2$ , то  $u_1(t_1, t_2) = -\cos t_1 (\operatorname{ch} t_2 + a \operatorname{sh} t_2) + i \sin t_1 (\operatorname{sh} t_2 + a \operatorname{ch} t_2)$ ,  $u_2(t_1, t_2) = -\cos t_1 (\operatorname{ch} t_2 - a \operatorname{sh} t_2) + i \sin t_1 (a \operatorname{ch} t_2 - \operatorname{sh} t_2)$ . Пусть  $u_{11}(t_1, t_2) = \operatorname{Re}(u_1(t_1, t_2))$ ,  $u_{21}(t_1, t_2) = \operatorname{Re}(u_2(t_1, t_2))$ . Область  $D = \{t: u_{11}(t_1, t_2) \leq 0, u_{21}(t_1, t_2) \leq 0, |t_1| \leq \pi/2\}$  — является прямоугольником с вершинами  $A(-\pi/2, -\alpha)$ ,  $B(\pi/2, -\alpha)$ ,  $B_1(\pi/2, \alpha)$  и  $A_1(-\pi/2, \alpha)$ .

Решение предельной (вырожденной) системы:  $\tilde{\mathcal{X}}(t) = -A^{-1}(t)f(t)$  в четырех точках  $A(-\pi/2, -\alpha)$ ,  $B(\pi/2, -\alpha)$ ,  $B_1(\pi/2, \alpha)$  и  $A_1(-\pi/2, \alpha)$  имеет особенность, при  $f(t) \neq 0$ . Кроме того это решение не удовлетворяет начальному условию  $\tilde{\mathcal{X}}(t_0) \neq x^0$ .

Таким образом, мы здесь тоже сталкиваемся с двумя сингулярностью: первое это наличие пограничного слоя, а второе — соответствующее невозмущенное (предельное) уравнение имеет особенность в точках  $A(-\pi/2, -\alpha)$ ,  $B(\pi/2, -\alpha)$ ,  $B_1(\pi/2, \alpha)$  и  $A_1(-\pi/2, \alpha)$ . Каждое уравнение системы (1) имеет по две точки поворота, в целом система имеет четыре точек поворота. Поэтому рассматриваемую задачу можно называть бисингулярной.

Перейдем к оценке интегралов

$$J(t, \varepsilon) = \int_L e^{\frac{1}{\varepsilon}(u_1(t)-u_1(\tau))} h_1(\tau) d\tau, \quad \tilde{J}(t, \varepsilon) = \int_{\tilde{L}} e^{\frac{1}{\varepsilon}(u_2(t)-u_2(\tau))} h_2(\tau) d\tau,$$

где:  $L, \tilde{L}$  — пути интегрирования, соединяющие точки  $(-\pi/2, 0)$  и  $t \in D$ . Пути интегрирования  $L, \tilde{L}$  симметричны относительно действительной оси. Область  $D$  разобьем на подобласти:

$$\begin{aligned} H_{00} &= \{t: 0 \leq t_1 + \pi/2 \leq \delta, \delta \leq t_2 + \alpha \leq 2\alpha\}, H_{10} = \{t: 0 \leq t_1 + \pi/2 \leq \delta\varepsilon^\gamma, t_2 + \alpha = \delta\varepsilon^\gamma\}, \\ H_{01} &= \{t: -\pi/2 + \delta \leq t_1, u_{11}(t_1, t_2) \leq (\varepsilon \ln \varepsilon)/2, \delta \leq |(t_1 - \pi/2) + i(t_2 + \alpha)|, t_2 \leq \alpha\}, \\ H_{11} &= \{t: -((1-2\gamma)\varepsilon \ln \varepsilon)/2 \leq t_2 + \alpha \leq \delta\varepsilon^\gamma, t_1 + \pi/2 = \delta\varepsilon^\gamma\}, \\ H_{12} &= \{t: |t_1| \leq \pi/2 - \delta\varepsilon^\gamma, u_{11}(t_1, t_2) = ((1-2\gamma)\varepsilon \ln \varepsilon)/2\}, \\ H_{13} &= \{t: -((1-2\gamma)\varepsilon \ln \varepsilon)/2 \leq t_2 + \alpha \leq \delta\varepsilon^\gamma, t_1 = \pi/2 - \delta\varepsilon^\gamma\}, \\ H_{14} &= \{t: -\delta\varepsilon^\gamma \leq t_1 - \pi/2 \leq ((1-2\gamma)\varepsilon \ln \varepsilon)/2, t_2 + \alpha = \delta\varepsilon^\gamma\}, \\ H_{15} &= \{t: u_{11}(t_1, t_2) = ((1-2\gamma)\varepsilon \ln \varepsilon)/2, \delta\varepsilon^\gamma \leq t_2 + \alpha \leq 2\alpha\}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{20} &= \{t: 0 \leq t_1 + \pi/2 \leq \delta \sqrt{\varepsilon}, 0 \leq t_2 + \alpha \leq \delta \sqrt{\varepsilon}\}, H_{21} = \{t: |t_1| \leq \pi/2 - \delta \sqrt{\varepsilon}, \\ &(\varepsilon \ln \varepsilon)/2 \leq u_{11}(t_1, t_2) \leq 0\}, \end{aligned}$$

$$H_{22} = \{t: -\delta \sqrt{\varepsilon} \leq t_1 - \pi/2 \leq 0, (\varepsilon \ln \varepsilon)/2 \leq u_{11}(t_1, t_2) \leq 0\}, \quad 0 < \delta < 1 \quad \text{—}$$

достаточное малое число,  $0 \leq \gamma < 1/2$ ,  $H_0 = H_{00} \cup H_{01}$ ,  $H_1 = \bigcup_{k=0}^5 H_{1k}$ ,

$$H_2 = \bigcup_{k=0}^2 H_{2k}, \quad D = H_0 \cup H_1 \cup H_2.$$

**Лемма 1.** Если  $t \in H_{00}$ , то для интеграла  $J(t, \varepsilon)$  справедлива оценка

$$|J(t, \varepsilon)| \leq c\varepsilon. \quad (7)$$

**Доказательство.** Путь интегрирования  $L$  состоит из отрезка прямой  $\tau_2=(\tau_1-t_0)t_2/(t_1-t_0)$ , соединяющей точки  $(t_0,0)$  и  $t \in H_{00}$ . Так как в области  $H_{00}$  имеет место условие:  $\operatorname{Re}(\lambda_1(t_1, t_2)) = \operatorname{sint}_1(\operatorname{cht}_2 + \operatorname{ash}t_2) \leq -c < 0$ , то имеем:

$$|J(t, \varepsilon)| \leq O(1) \int_L e^{-\frac{c}{\varepsilon}(t_1 - \tau_1)} d\tau_1 = O(\varepsilon).$$

Справедливость этой оценки также можно доказать и интегрируя по частям  $J(t, \varepsilon)$ . ♦

**Лемма 2.** Если  $t \in H_{10}$ , то для интеграла  $J(t, \varepsilon)$  справедлива оценка

$$|J(t, \varepsilon)| \leq c\varepsilon^{1-\gamma}, \text{ где } 0 \leq \gamma < 1/2. \quad (8)$$

**Доказательство.** Путь интегрирования  $L$  тот же что в лемме 1. Интегрируя  $J(t, \varepsilon)$  по частям имеем:  $|J(t, \varepsilon)| \leq \varepsilon |h_1(t)/\lambda_1(t)| + O(\varepsilon)$ .

Учитывая, что  $\lambda_1(t) = O((t + \pi/2 + i\alpha))$  и  $c\varepsilon^\gamma \leq |\lambda_1(t)| \leq C\varepsilon^\gamma$ , то следует оценка:

$$|\varepsilon h_1(t)/\lambda_1(t)| = O(\varepsilon^{1-\gamma}). \quad \blacklozenge$$

Рассмотрим следующий интеграл

$$\begin{aligned} J(t, \varepsilon) &= \int_L e^{\frac{1}{\varepsilon}(u_1(t) - u_1(\tau))} h_1(\tau) d\tau = \\ &= \left( \int_{L_1} + \int_{L_2} + \int_{L_3} \right) e^{\frac{1}{\varepsilon}(u_1(t) - u_1(\tau))} h_1(\tau) d\tau, \end{aligned}$$

где:  $L = L_1 \cup L_2 \cup L_3$ ,  $J(t, \varepsilon) = j_1(t, \varepsilon) + j_2(t, \varepsilon) + j_3(t, \varepsilon)$ ,

$L_1$  — отрезок линии  $\tau_1 = -\pi/2$ ,  $-\alpha \leq \tau_2 \leq 0$ ;

$L_2$  — отрезок линии  $\tau_2 = -\alpha$ ,  $-\pi/2 \leq \tau_1 \leq t_1$ ;

$L_3$  — отрезок линии  $\tau_1 = t_1$ ,  $-\alpha \leq \tau_2 \leq t_2$ ;

Вычисляя эти интегралы, получим оценки:

$$|j_1(t, \varepsilon)| \leq e^{\frac{1}{\varepsilon} u_{11}(t)} (c\varepsilon + h_{10} \sqrt{\varepsilon}); \quad (9)$$

$$|j_2(t, \varepsilon)| \leq e^{\frac{1}{\varepsilon} u_{11}(t_1, t_2)} (h_{10} c \sqrt{\varepsilon} + c\varepsilon); \quad (10)$$

1. Пусть  $-\pi/2 \leq t_1 \leq -\pi/2 + \delta\varepsilon^{1/2}$ ,  $0 \leq t_2 + \alpha \leq \delta\varepsilon^{1/2}$ , тогда  $|j_3(t, \varepsilon)| \leq c\varepsilon^{1/2}$ . (11)

2. Пусть  $|t_1| \leq \pi/2 - \delta\varepsilon^{1/2}$ , тогда  $|j_3(t, \varepsilon)| \leq c\varepsilon$ . (12)

3. Пусть  $\pi/2 - \delta\varepsilon^{1/2} \leq t_1 \leq \pi/2$ ,  $0 \leq t_2 + \alpha \leq \delta\varepsilon^{1/2}$ , тогда  $|j_3(t, \varepsilon)| \leq c\varepsilon^{1/2}$ . (13)

4. Пусть  $\pi/2 - \delta\varepsilon^{1/2} \leq t_1 \leq \pi/2$ ,  $\delta\varepsilon^{1/2} \leq t_2 + \alpha \leq 2\alpha$ , тогда

$$|j_{53}(t, \varepsilon)| \leq c\sqrt{\varepsilon} e^{\frac{u_{11}(t_1, t_2)}{\varepsilon}} + \varepsilon \left| \frac{h_1(t_1, t_2)}{\lambda_1(t_1, t_2)} \right| + c\sqrt{\varepsilon} |h_1(t_1, -\alpha + \sqrt{\varepsilon})| e^{\frac{u_{11}(t_1, t_2)}{\varepsilon}}. \quad (14)$$

Из этих оценок следует справедливость следующих лемм.

**Лемма 3.** Если  $t \in H_{20} \cup H_{21} \cup H_{22}$ , то для интеграла  $J(t, \varepsilon)$  справедлива оценка:  $|J(t, \varepsilon)| \leq c\varepsilon^{1/2}$ .

**Доказательство** следует из (9)—(11), (13), (14).

**Лемма 4.** Если  $t \in H_{12} \cup H_{13} \cup H_{14} \cup H_{15}$ , то для  $J(t, \varepsilon)$  справедлива оценка:

$$|J(t, \varepsilon)| \leq c\varepsilon^{1-\gamma}.$$

**Доказательство** следует из (9), (10), (12), (14).

**Лемма 5.** Если  $t \in H_{01}$ , то для  $J(t, \varepsilon)$  справедлива оценка:  $|J(t, \varepsilon)| \leq c\varepsilon$ .

**Доказательство** следует из (9), (10), (12), (14).

Следовательно, справедлива

**Теорема.** Пусть выполняются условия  $U_1, U_2$ . Тогда задача (1)-(2) имеет единственное решение и для него справедлива асимптотическая оценка:

$$\|x(t, \varepsilon)\| \leq c\Omega_2(t, \varepsilon)/\varepsilon,$$

где

$$\Omega_2(t, \varepsilon) = \begin{cases} \varepsilon, & \text{при } t \in H_0 \cap \tilde{H}_0, \\ \varepsilon^{1-\gamma}, & \text{при } t \in H_1 \cup \tilde{H}_1, t_1 \leq \pi/2 + (1-2\gamma)\varepsilon \ln \varepsilon, \\ \sqrt{\varepsilon}, & \text{при } t \in H_2 \cup \tilde{H}_2, 0 \leq \gamma < 1/2. \end{cases}$$

### **Список литературы:**

1. Алыбаев К.С. Метод линий уровня исследования сингулярно возмущенных уравнений при нарушении условия устойчивости: Дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.01.02. Жалалабат, 2001. — 203 с.
2. Нейштадт А.И. Асимптотическое исследование потери устойчивости равновесия при медленном прохождении пары собственных чисел через мнимую ось // Успехи мат. наук. — 1985. — Т. 40, — Вып. 5. — С. 300—301.
3. Турсунов Д.А. Асимптотика решений сингулярно возмущенных уравнений в случае смены устойчивости, когда собственные значения имеют  $n$ -кратный полюс: Дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.01.02. Ош, 2005. — 110 с.
4. Турсунов Д.А. Асимптотика решения сингулярно возмущенной задачи с периодической точкой поворота // интернет журнал ВАК КР. [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://195.38.189.154:81/jurnal/> (дата обращения 27.08.2013).

## **АСИМПТОТИКА РЕШЕНИЯ СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННОГО ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ С КРАТНОЙ ТОЧКОЙ ПОВОРОТА ВНУТРИ ОБЛАСТИ**

*Турсунов Дилмурат Абдиллажанович*

*канд. физ.-мат. наук, доцент ОшГУ,  
г. Ош*

*E-mail: [dosh2012@mail.ru](mailto:dosh2012@mail.ru)*

## **ASYMPTOTICS OF SOLUTIONS OF SINGULARLY PERTURBED ELLIPTIC EQUATIONS WITH THE MULTIPLE TURNING POINT IN AREA**

*Dilmurat Tursunov*

*candidate of physics and mathematics sciences,  
associate professor of Osh State University,  
Osh*

## АННОТАЦИЯ

Целью данной работы является построить равномерную асимптотику решения задачи Дирихле для бисингулярно возмущенного эллиптического уравнения в круге. Соответствующее невозмущенное уравнение имеет кратную точку поворота внутри круга. Применяется новый метод — обобщенный метод погранфункций, который является аналогом метода погранфункций. Получена равномерная асимптотика решения поставленной задачи.

## ABSTRACT

The aim of this paper is to construct a uniform asymptotic solution of the Dirichlet problem for the bisingularly perturbed elliptic equation in a circle. The corresponding unperturbed equation has a multiple turning point within the circle. A generalized method of boundary functions has been applied. The proposed method is analog of the boundary functions. The uniform asymptotic solution of the problem was constructed.

**Ключевые слова:** асимптотика; точка поворота; задача Дирихле; погранфункций; эллиптические уравнения; асимптотический ряд; уравнение Гельмгольца.

**Keywords:** asymptotic; turning point; the Dirichlet problem; boundary functions; elliptic equations; asymptotic series; Helmholtz equation.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ по проекту № 13-01-90903 мол\_ин\_нр*

**Постановка задачи.** Рассмотрим задачу Дирихле для эллиптического уравнения

$$\varepsilon \Delta_{r\phi} u - r^n u = f(r, \phi), \quad (r, \phi) \in D = \{(r, \phi) | 0 \leq \phi < 2\pi, 0 \leq r < 1\}, \quad (1)$$

$$u(1, \phi, \varepsilon) = 0, \quad (2)$$

где  $\Delta_{r\phi} = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2}$ ,  $u = u(r, \phi, \varepsilon)$ ,

$$f(r, \phi) = \sum_{k=0}^{\infty} f_k(\phi) r^k, \quad f_k(\phi) = \frac{\partial^k f(0, \phi)}{k! \partial r^k}, \quad 0 < \varepsilon \ll 1 \text{ — малый параметр.}$$

Аналогичные задачи к задаче (1)–(2), методом сращивания, рассмотрены в работах [1], [4], [5] и в цитируемых в этих работах. А в работе [3] рассмотрен случай  $n=1$ .



Как и раньше, чтобы убедиться, что решение соответствующего невозмущенного уравнения имеет особенность, рассмотрим структуру внешнего разложения решения задачи (1), которое ищем в виде:

$$V = \sum_{k=0}^{\infty} \varepsilon^k v_k(r, \phi), \quad \varepsilon \rightarrow 0, \quad (3)$$

где:  $V$  — это пока формальный ряд. Подставляя (3) в (1) и приравнявая коэффициенты при одинаковых степенях  $\varepsilon$ , получим рекуррентную систему уравнений:  $-r^n v_0(r, \phi) = f(r, \phi)$ ,  $r^n v_k(r, \phi) = \Delta_{r\phi} v_{k-1}(r, \phi)$ ,  $k \in \mathbb{N}$ .

Отсюда определяются все  $v_k(r, \phi) \in C^\infty(\bar{D} \setminus (0, \phi))$ :

$$v_0(r, \phi) = -f(r, \phi)/r^n, \quad v_k(r, \phi) = \Delta_{r\phi} v_{k-1}(r, \phi)/r^n, \quad k \in \mathbb{N}.$$

Заметим, что при  $r=0$  все эти функции  $v_k(r, \phi)$  имеют нарастающие особенности:

$$v_k(r, \phi) = O(1/r^{n+k(n+2)}), \quad k=0, 1, 2, \dots$$

Поэтому задача (1)-(2) является бисингулярной. В окрестности  $r=0$ , имеем:

$$V = \frac{1}{r^n} \left( -f(r, \phi) + \frac{\varepsilon}{r^{n+2}} F_1(r, \phi) + \dots + \left( \frac{\varepsilon}{r^{n+2}} \right)^m F_m(r, \phi) + \dots \right), \quad \text{при } \varepsilon \rightarrow 0,$$

где  $F_k(r, \phi) \in C^\infty(\bar{D})$ ,  $k=1, 2, \dots$ .

В окрестности  $r=0$  ряд (3) не только не приближает решение  $u(r, \phi, \varepsilon)$ , но даже теряет асимптотический характер.

**Построение ФАР решения.** Решение задачи (1)-(2) будем искать в виде:

$$u(r, \phi, \varepsilon) = \sum_{k=-n}^{-1} w_k(\tau, \phi) \mu^k + v_0(r, \phi) + \pi_0(\eta, \phi) + R(r, \phi), \quad (4)$$

где  $\eta = (1-r)/\varepsilon^{1/2}$ ,  $\varepsilon = \mu^{n+2}$ ,  $\tau = r/\mu$ .

Учитывая граничное условие (2) имеем:

$$u(1, \phi, \varepsilon) = \sum_{k=-n}^{-1} w_k(1/\mu, \phi) \mu^{k+v_0(1, \phi)+\pi_0(0, \phi)+R(1, \phi)} = 0, \quad (5)$$

$$w_k(1/\mu, \phi) = 0, \quad k = -n, -n+1, \dots, -1; \quad (6)$$

$$\pi_0(0, \phi) = -v_0(1, \phi), \quad (7)$$

$$R(1, \phi) = 0. \quad (8)$$

Подставляя (4) в (1) получим:

$$\varepsilon \Delta_{r\phi} v_0 - r^n v_0 + \sum_{k=-n}^{-1} \left( \Delta_{\tau\phi} w_k - \tau^n w_k \right) \mu^{k+n} + \varepsilon \Delta_{\eta\phi} \pi_0 - (1 - \varepsilon^{1/2} \eta)^n \pi_0 + \varepsilon \Delta_{r\phi} R - r^n R = f(r, \phi) - H(r, \phi) + H(\tau\mu, \phi), \quad (8)$$

где

$$\Delta_{\tau\phi} = \frac{\partial^2}{\partial \tau^2} + \frac{1}{\tau} \frac{\partial}{\partial \tau} + \frac{1}{\tau^2} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2},$$

$$\Delta_{\eta\phi} = \left( \frac{\partial^2}{\varepsilon \partial \eta^2} - \frac{1}{(1 - \sqrt{\varepsilon} \eta) \sqrt{\varepsilon} \partial \eta} + \frac{1}{(1 - \sqrt{\varepsilon} \eta)^2} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \right).$$

Здесь мы в правую часть уравнения прибавили и убавили одну и ту же функцию  $H(r, \phi)$ , которую определим ниже.

Из равенства (8) получим:

$$\varepsilon \Delta_{r\phi} v_0 - r^n v_0 + \sum_{k=-n}^{-1} \left( \Delta_{\tau\phi} w_k - \tau^n w_k \right) \mu^{k+n} + \left( \frac{\partial^2 \pi_0}{\partial \eta^2} - \pi_0 \right) + O(\varepsilon^{1/2}) + \varepsilon \Delta_{r\phi} R - r^n R = f(r, \phi) - H(r, \phi) + H(\tau\mu, \phi).$$

Отсюда, учитывая (5)—(7) получим:

$$-r^n v_0 = f(r, \phi) - H(r, \phi); \quad (9)$$

$$\sum_{k=-n}^{-1} \left( \Delta_{\tau\phi} w_k - \tau^n w_k \right) \mu^{k+n} = H(\tau\mu, \phi), \quad w_k(1/\mu, \phi) = 0, \quad k = -n, -n+1, \dots, -1; \quad (10)$$

$$\frac{\partial^2 \pi_0}{\partial \eta^2} - \pi_0 = 0, \quad \pi_0(0, \phi) = -v_0(1, \phi); \quad (11)$$

$$\varepsilon \Delta_{r\phi} R - r^n R = O(\varepsilon^{1/2}) - \varepsilon \Delta_{r\phi} v_0, \quad R(1, \phi) = 0. \quad (12)$$

Из равенства (9) определяем  $v_0(r, \phi)$ :  $v_0(r, \phi) = -(f(r, \phi) - H_0(r, \phi))/r^n$ .

Определим неизвестную функцию  $H(r, \phi)$  так чтобы  $v_0(r, \phi) \in C^\infty(\bar{D})$ . Значит,  $H(r, \phi) = \sum_{j=0}^{n-1} f_j(\phi) r^j$ .

Следовательно,

$$v_0(r, \phi) = - \sum_{j=n}^{\infty} f_j(\phi) r^{j-n}. \quad (13)$$

Задачу (10) запишем в следующем в виде:

$$\sum_{k=-n}^{-1} (\Delta_{\tau\phi} w_k - \tau^n w_k) \mu^{k+n} = \sum_{j=0}^{n-1} f_j(\phi) (\mu\tau)^j, \quad w_k(1/\mu, \phi) = 0.$$

Приравнивая по степеням  $\mu$ , получим:

$$\Delta_{\tau\phi} w_k - \tau^n w_k = f_{n+k}(\phi) \tau^{n+k}, \quad w_k(1/\mu, \phi) = 0, \quad k = -n, -n+1, \dots, -1. \quad (14)$$

Уравнение  $\Delta_{\tau\phi} w_k - \tau^n w_k = f_{n+k}(\phi) \tau^{n+k}$  приводим к неоднородному уравнению Гельмгольца. Пусть  $\eta = \frac{1}{\alpha} \tau^\alpha \cos \alpha \phi$ ,

$\xi = \frac{1}{\alpha} \tau^\alpha \sin \alpha \phi$ . Вычисляя соответствующие производные и подставляя их в уравнение

$$\frac{\partial^2 w_k}{\partial \tau^2} + \frac{\partial w_k}{\tau \partial \tau} + \frac{\partial^2 w_k}{\tau^2 \partial \phi^2} - \tau^n w_k = f_{n+k}(\phi) \tau^{n+k},$$

получим:  $\tau^{2\alpha-2} \left( \frac{\partial^2 w_k}{\partial \eta^2} + \frac{\partial^2 w_k}{\partial \xi^2} \right) - \tau^n w_k = f_{n+k}(\eta, \xi) \tau^{n+k}.$

Отсюда, при  $\alpha=(n+2)/2$  имеем:

$$\left( \frac{\partial^2 w_k}{\partial \eta^2} + \frac{\partial^2 w_k}{\partial \xi^2} \right) - w_k = f_{n+k}(\eta, \xi) \tau^k.$$

Так как  $\eta = (\tau^\alpha \cos \alpha \phi) / \alpha$ ,  $\xi = (\tau^\alpha \sin \alpha \phi) / \alpha$ ,  
то  $\tau^{2\alpha} = \alpha^2 (\eta^2 + \xi^2)$ , отсюда следует, что  $\tau = \sqrt[2\alpha]{\alpha^2 (\eta^2 + \xi^2)}$ .

Следовательно,

$$\left( \frac{\partial^2 w_k}{\partial \eta^2} + \frac{\partial^2 w_k}{\partial \xi^2} \right) - w_k = f_{n+k}(\eta, \xi) \left( (n/2 + 1)^2 (\eta^2 + \xi^2) \right)^{k/(n+2)} \quad (15)$$

При  $-\infty < \eta < \infty$ ,  $-\infty < \xi < \infty$ , уравнение (15) имеет единственное решение [2]:

$$w_k(\eta, \xi) = \frac{(1+n/2)^{2k/(n+2)}}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f_{n+k}(\eta_1, \xi_1)}{(\eta_1^2 + \xi_1^2)^{k/(n+2)}} K_0(\rho) d\eta_1 d\xi_1, \quad (16)$$

где:  $\rho = \sqrt{(\xi - \xi_1)^2 + (\eta - \eta_1)^2}$ ,  $K_0(\rho)$  — функция Макдональда (модифицированная функция Бесселя).

Асимптотику решения задачи (14) при  $\tau \rightarrow \infty$ , ищем в виде

$$w_k(\tau, \phi) = a_0(\phi) + \frac{a_1(\phi)}{\tau} + \dots + \frac{a_n(\phi)}{\tau^n} + \dots \quad (17)$$

Подставляя (17) в (14) имеем:

$$\left\{ \frac{2a_1(\phi)}{\tau^3} + \dots + \frac{n(n+1)a_n(\phi)}{\tau^{n+2}} \right\} - \frac{1}{\tau} \left\{ \frac{a_1(\phi)}{\tau^2} + \dots + \frac{na_n(\phi)}{\tau^{n+1}} \right\} + \frac{1}{\tau^2} \{ a_0''(\phi) + \frac{a_1''(\phi)}{\tau} + \dots + \frac{a_n''(\phi)}{\tau^n} \} - \tau^n \left\{ a_0(\phi) + \frac{a_1(\phi)}{\tau} + \dots + \frac{a_n(\phi)}{\tau^n} \right\} = f_{n+k}(\phi) \tau^{n+k}$$

Отсюда

при  $k = -n$ :  $a_j(\phi) \equiv 0, j=0, 1, \dots, n-1, a_n(\phi) = -f_0(\phi), \dots$ ;

при  $k = -n+1$ :  $a_j(\phi) \equiv 0, j=0, 1, \dots, n-2, a_{n-1}(\phi) = -f_1(\phi), \dots$ ;

...

при  $k = -1$ :  $a_0(\phi) \equiv 0, a_1(\phi) = -f_{n-1}(\phi), \dots$ .

Следовательно, справедливы равенства:

$$w_{-n}(\tau, \phi) = \frac{1}{\tau^n} \left( a_n(\phi) + \frac{1}{\tau^{n+2}} a_{2n+2}(\phi) \dots + \frac{1}{\tau^{m(n+2)}} a_{m(n+2)+n}(\phi) + \dots \right),$$

$$w_{-n+j}(\tau, \phi) = \frac{1}{\tau^{n-j}} \left( a_{n-j}(\phi) + \frac{1}{\tau^{n+2-j}} a_{2n+2-j}(\phi) \dots + \frac{1}{\tau^{m(n+2)-j}} a_{m(n+2)+n-j}(\phi) + \dots \right),$$

т. е.  $w_{-n+j}(\tau, \phi) = O(\tau^{-n+j})$ , при  $\tau \rightarrow \infty, j=0, 1, 2, \dots, n-1$ .

Для  $\forall k, w_k(\tau, \phi) \rightarrow 0$  при  $\tau \rightarrow \infty; w_k(\tau, \phi) \in C^\infty(\overline{D_1}), k=-n, -n+1, \dots, -1$ .

Задача (11) имеет единственное решение представимое в виде:

$$\begin{aligned} \pi_0(\eta, \phi) &= -v_0(1, \phi) e^{-\eta}, \\ \pi_0(\eta, \phi) &\rightarrow 0, \eta \rightarrow \infty; \pi_0(\eta, \phi) \in C^\infty(\overline{D_1}). \end{aligned} \quad (18)$$

**Оценка остаточного члена  $R(r, \phi)$ .** Задачу (12) запишем в виде

$$\varepsilon \Delta_{r\phi} R - r^n R = O(\varepsilon^{1/2}), R(1, \phi) = 0.$$

Пусть  $R(r, \phi) = O(\varepsilon^{1/2}) Z(r, \phi) / \mu^n, \mu = \varepsilon^{1/(n+2)}, r = \mu \tau$ , тогда

$$\Delta_{r\phi} Z - \tau^n Z = 1, Z(1/\mu, \phi) = 0.$$

Учитывая решение задачи (14) имеем:

$$Z(r, \phi) = O(1), Z(1/\mu, \phi) = O(1/\tau^n), \text{ при } \mu \rightarrow 0, \tau \rightarrow \infty.$$

Отсюда следует, что  $|R(r, \phi)| = O(\varepsilon^{n/(2n+4)})$ .

Нами доказана

**Теорема.** Если  $f(r, \phi) \in C^\infty(\bar{D})$ ,  $f(0, 0) \neq 0$ , тогда для решения задачи (1)-(2) справедливо асимптотическое разложение

$$u(x, y, \varepsilon) = \sum_{k=-n}^{-1} w_k \mu^k + v_0 + \pi_0 + O\left(\varepsilon^{n/(2n+4)}\right), \text{ при } \varepsilon \rightarrow 0,$$

где:  $v_0, w_k, \pi_0$  — функции, определяемые из равенств (13), (16), (18).

### Список литературы:

1. Ильин А.М. Согласование асимптотических разложений краевых задач. М.: Наука, 1989. — 334 с.
2. Полянин А.Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. — 576 с.
3. Турсунов Д.А. Аналог метода погранфункции для бисингулярно возмущенного эллиптического уравнения // Сб. научн. трудов X межд. науч. конф. Молод. учен. «Перспективы развития фундаментальных наук» Россия, Томск, 2013. — С. 623—626.
4. Eckhaus W., Boundary Layers in Linear Elliptic Singular Perturbation Problems, SIAM Review, — Vol. 14, — № 2 (Apr., 1972), — pp. 225—270.
5. Shagi-di Shih and r. Bruce Kellogg, Asymptotic analysis of a singular perturbation problem, SIAM J. Math. Anal. — Vol. 18, — № 5, (Sept 1987), — pp. 1467—1511.

### **1.3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА**

#### **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ АВТОМОБИЛЯ И СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ**

***Погодин Александр Вячеславович***

*студент, Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева,  
Н. Новгород*

***Анучин Илья Евгеньевич***

*студент, Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева,  
Н. Новгород*

***Тумасов Антон Владимирович***

*доцент, канд. техн. наук  
Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева,  
Н. Новгород*

***Катаева Лилия Юрьевна***

*доцент, д-р физ.-мат. наук  
Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева,  
Н. Новгород*

***Масленников Дмитрий Александрович***

*канд. физ.-мат. наук  
Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева,  
Н. Новгород,  
E-mail: [dmitrymaslenikov@rambler.ru](mailto:dmitrymaslenikov@rambler.ru)*

# NUMERICAL SIMULATION OF FLOW AROUND THE CAR AND COMPARISON WITH EXPERIMENTAL DATA

***Pogodin Alexandr***

*Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev,  
N. Novgorod*

***Anuchin Ilya***

*Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev,  
N. Novgorod*

***Tumasov Anton***

*docent, Ph.D. Nizhny Novgorod State Technical University. R.E. Alekseev,  
N. Novgorod*

***Kataeva Liliya***

*docent, Doctor of Physics and Mathematics,  
Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev,  
N. Novgorod*

***Maslennikov Dmitriy***

*candidate of Physics and Mathematics  
Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev,  
N. Novgorod*

## **АННОТАЦИЯ**

Данная работа посвящена численному моделированию обтекания автомобиля и сопоставлению результатов с данными, полученными при обтекании модели автомобиля в аэродинамической трубе. Показаны поля скоростей для различных конфигураций автомобиля. Результаты численных расчётов хорошо согласуются с экспериментальными данными.

## **ABSTRACT**

This work is deals with the numerical simulation of flow around the car and comparing the results with those obtained in the flow model of the car in the wind tunnel. Velocity field for different vehicle configurations shown. The numerical results agree well with the experimental data.



**Ключевые слова:** аэродинамика автомобиля, аэродинамическая труба, вычислительная гидродинамика.

**Keywords:** vehicle aerodynamics, wind tunnel, computational fluid dynamics.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проекта по договору № 02.G25.31.0006 от 12.02.2013 г. (постановление Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 года № 218).*

До недавнего времени, основными методами определения аэродинамических характеристик было испытание готового автомобиля в реальных **условиях** и продувание модели в аэродинамической трубе [1]. Недостатком данных методов являются высокие издержки в случае необходимости моделирования слишком большого количества вариантов конфигурации. Благодаря росту вычислительных мощностей ЭВМ, становится актуальным проведение численных экспериментов для исследования аэродинамики.

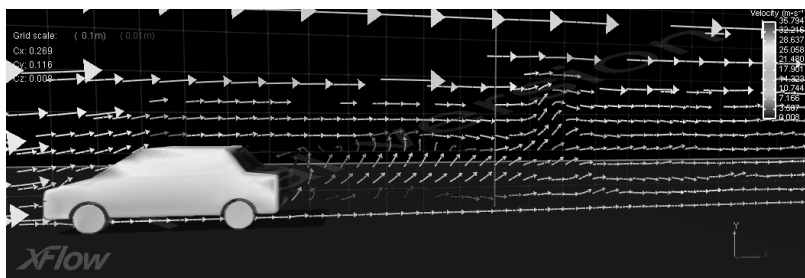
Для исследования модели в аэродинамической трубе и при помощи численных экспериментов характерны различные виды ошибок, таких как загромождение трубы, сложности моделирования движущегося со скоростью потока воздуха полотна дороги, погрешность измерения и др. [1]. Следует отметить, что для воспроизведения числа Рейнольдса, необходимо при уменьшении размеров модели увеличивать скорость потока, что во-первых не всегда соответствует возможностям аэродинамической трубы, а во-вторых эта скорость не должна превышать 40 % скорости звука, чтобы избежать побочных эффектов, связанных со сжимаемостью воздуха [1]. Для численного моделирования характерно упрощение моделируемых физических законов и численная погрешность. В связи с вышесказанным, целесообразно проведения сравнений результатов численных расчётов и данных по экспериментам в аэродинамической трубе.

Целью проведения виртуального эксперимента является сравнение данных полученных при эксперименте в аэродинамической трубе НГТУ и определение погрешностей для учета их в дальнейших испытаниях.

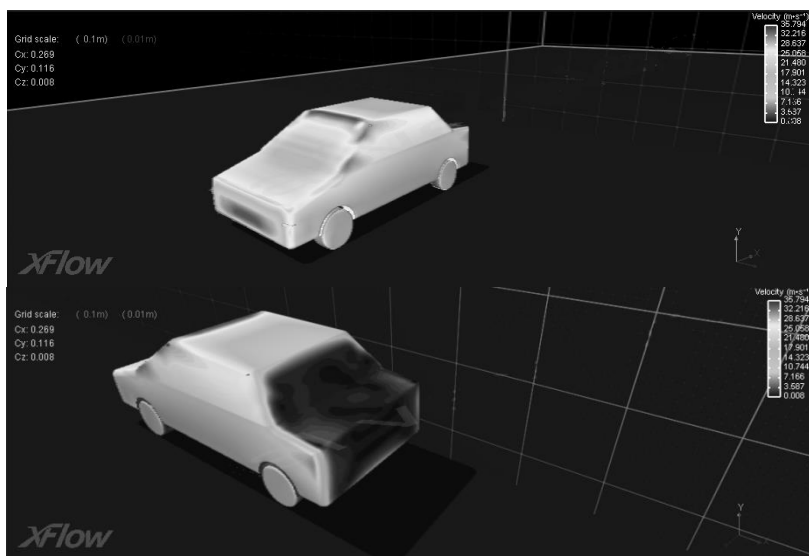
При моделировании виртуального эксперимента в качестве начальных условий были приняты условия, аналогичные экспериментальным: скорость воздушного потока 28 м/с, соответствие размеров модели. Для численного моделирования обтекания, использовался программный пакет XFlow 2012 [2].

На рис. 1 показано поле скоростей, сформированное при обтекании модели седан. Цвет стрелок указывает на локальную

скорость потока в соответствии со шкалой в правом верхнем углу. На рис. 2 показано распределение скоростей по поверхности модели. Согласно показанным расчётам, картинка обтекания над автомобилем достаточно гладкая, а вихри образуются только позади. По мере удаления от автомобиля поле скоростей стабилизируется. На рис. 2 видно, что наибольшая скорость потока воздуха характерна для рёбер передней части автомобиля, а наименьшая скорость по всей задней части и в области переднего бампера.

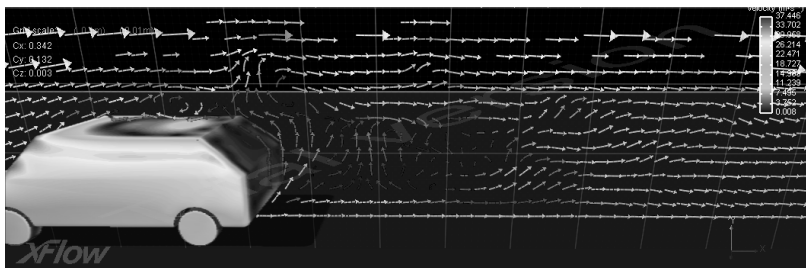


*Рисунок 1. Визуализация плана скоростей в виде векторов*

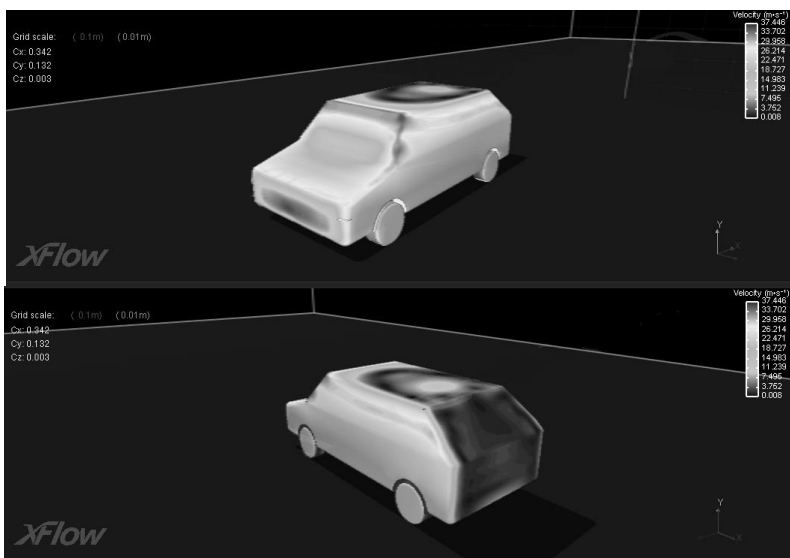


*Рисунок 2. Распределение скоростей по поверхности модели*

На рис. 3 показано поле скоростей, сформированное при обтекании модели хэтчбек. Цвет стрелок указывает на локальную скорость потока в соответствии со шкалой в правом верхнем углу. На рис. 4 показано распределение скоростей по поверхности модели. В отличие от картины обтекания седана, показанной на рис. 1—2, скорость на поверхности крыши автомобиля существенно ниже, а над ним и сзади наблюдаются сильные вихри.

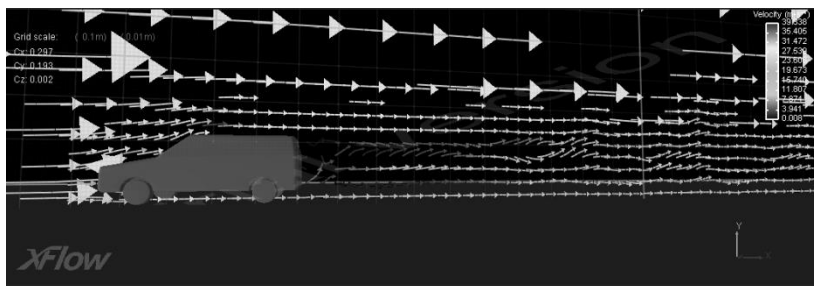


**Рисунок 3. Визуализация плана скоростей в виде векторов для модели хэтчбек**

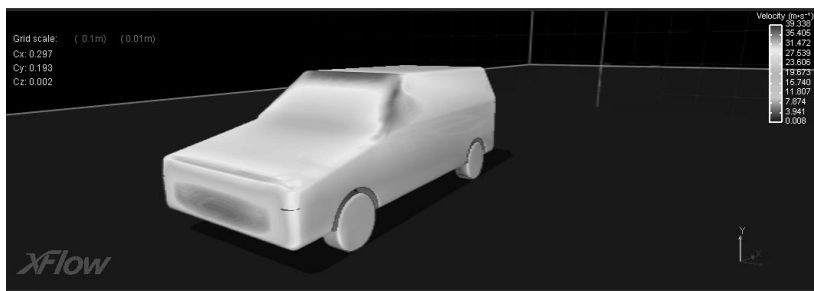


**Рисунок 4. Распределение скоростей по поверхности модели хэтчбек**

На рис. 5 показано поле скоростей, сформированное при обтекании модели универсал. Цвет стрелок указывает на локальную скорость потока в соответствии со шкалой в правом верхнем углу. На рис. 6 показано распределение скоростей по поверхности модели. Картина обтекания модели универсал аналогична обтеканию модели седан. Существенных вихрей не образуется.



**Рисунок 5. Визуализация плана скоростей в виде векторов для модели универсал**



**Рисунок 6. Распределение скоростей по поверхности модели универсал**

В таблице 1 сопоставляются расчётные и экспериментальные данные.

*Таблица 1.*

**Сравнение расчётных и экспериментальных данных  
по лобовому сопротивлению**

<b>Тип автомобиля</b>	<b>Расчётное значение <math>C_x</math></b>	<b>Экспериментальное значение <math>C_x</math></b>	<b>Относительная погрешность</b>
Седан	0,269	0,278	3,3 %
Хэтчбек	0,257	0,288	12 %
Универсал	0,297	0,297	<1 %

В данной работе показано, что расчёты хорошо согласуются с экспериментами в аэродинамической трубе.

**Список литературы:**

1. Гросс Д.С., Сексинский У.С. Некоторые проблемы испытаний автомобилей в аэродинамических трубах // Аэродинамика автомобиля. Сб. статей. Пер. с англ. Ф.Н. Шклярчука. Под ред. Чл.-кор. АН СССР Э.И. Григолюка. М.: Машиностроение, 1984. — 376 с., ил.
2. XFlow Next generation CFD. — [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.xflow-cfd.com/> (дата обращения 20.08.2013).

## 1.4. ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА

### РАЗЛИЧНЫЕ СТАТИСТИКИ В ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ СХЕМЕ

*Нуртаева Дана Калдыбаевна*

*магистр, старший преподаватель Университета «Туран»,*

*Казахстан, г. Алматы*

*E-mail: [nurtaeva\\_d@mail.ru](mailto:nurtaeva_d@mail.ru)*

### DIFFERENT STATISTICS IN THE NEGATIVE POLYNOMIAL SCHEME

*Nurtayeva Dana Kaldybayevna*

*master, senior teacher of University "Turan",*

*Kazakhstan, Almaty*

#### АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются критерии значимости для проверки непараметрических гипотез, основанные на статистиках, полученных в результате изучения предельного поведения отрицательного полиномиального распределения.

#### ABSTRACT

Significance tests for checking up of the nonparametric hypothesis based on the statistics, which have been received in the result of the analysis of the utmost action of the negative polynomial distribution, are examined in the given article.

**Ключевые слова:** отрицательное полиномиальное распределение; непараметрические гипотезы.

**Keywords:** negative polynomial distribution; nonparametric hypothesis.

Пусть  $x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(n)}$  простая выборка объема  $n$  из генеральной совокупности с распределением  $R$ . Будем считать, что относительно  $R$  верна одна из двух гипотез: либо гипотеза  $H_0$ , состоящая в том, что  $R = P$ , либо дополнительная гипотеза  $H_1$ , которая означает что  $R = Q$  ( $P \neq Q$ ).

Для проверки  $H_0$  против  $H_1$  отрезок  $(a, b)$ , на котором сосредоточены  $P$  и  $Q$ , разобьем на непересекающиеся интервалы  $\Delta_i$ , ( $i = 0, 1, \dots, k$ ) и пусть  $m_i$  число элементов выборки в  $\Delta_i$ . Положим далее, что  $p(x) \geq \mu > 0$ ,  $q(x) = p(x) + \gamma(x)/\sqrt{n}$  соответственно плотности распределения  $P$  и  $Q$ ,  $p(x)$  и  $q(x)$  интегрируемы по Риману. Для простоты будем считать, что длина отрезка  $(a, b)$  конечна, а  $|\Delta_i| = \frac{b-a}{k}$ .

Сделанные допущения позволяют записать

$$p_i = \int_{\Delta_i} p(x) dx, \quad q_i = \int_{\Delta_i} q(x) dx = p_i + \frac{\gamma_i}{\sqrt{n}}, \quad \cdot$$

$$\gamma_i = \int_{\Delta_i} \gamma(x) dx, \quad \int_a^b \gamma(x) dx = 0$$

Введем обозначения

$$u_i = p_i + \dots + p_k, \quad v_i = q_i + \dots + q_k, \quad w_i = \gamma_i + \dots + \gamma_k, \quad n_i = m_i + \dots + m_k,$$

$$m = n_1 = m_1 + m_2 + \dots + m_k, \quad u_0 = 1, \quad v_0 = 1, \quad w_0 = 0, \quad n_0 = n,$$

$$x_0 = \frac{mp_0 - nu_1}{\sqrt{np_0}}, \quad x_i = \frac{m_i p_0 - np_i}{\sqrt{np_0 p_i}},$$

$$t_0 = \frac{mq_0 - nv_1}{\sqrt{nq_0}}, \quad t_i = \frac{m_i q_0 - nq_i}{\sqrt{nq_0 q_i}}, \quad m = m_1 + m_2 + \dots + m_k \quad (i = 1, \dots, k)$$

), (1)

$$y_0 = \frac{mp_0 - nu_1}{\sqrt{nu_1}}, \quad y_i = \frac{m_i u_i - n_i p_i}{\sigma \sqrt{p_i u_i u_{i+1}}}, \quad \sigma^2 = \frac{n}{p_0}, \quad (i = 1, \dots, k-1)$$

$$z_0 = \frac{mq_0 - nv_1}{\sqrt{nv_1}}, \quad y_i = \frac{m_i v_i - n_i q_i}{\sigma_z \sqrt{p_i u_i u_{i+1}}}, \quad \sigma_z^2 = \frac{n}{q_0}, \quad (i = 1, \dots, k-1).$$

Если объем выборки  $n$  фиксирован, то рассмотренная методика проверки гипотез приводит к хорошо известному критерию хи-квадрат [6, с. 453], [5, с. 255], связанному с полиномиальным (мультиномиальным) распределением.

Изучение этого распределения и полученные нормировки приводят к линейным статистикам, использование которых позволили строить дополнительные критерии для проверки непараметрических гипотез, отличных от критерия хи-квадрат. Более того, полученные перенормировки позволяют сделать некоторые усовершенствования и для самого критерия хи-квадрат. Изложение этих вопросов приведены в [1, с. 21], [2, с. 42].

При проверке непараметрических гипотез, используется модель, приводящая к отрицательному полиномиальному распределению.

Используя приведенные данные в начале статьи, рассматривается выборка до появления  $n$  — го появления выборочного значения в интервале  $\Delta_0$  при этом будем полагать, что в интервалах  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_k$  имеются  $m_1, \dots, m_k$  выборочных значений соответственно. Отметим, что компоненты  $\bar{m} = (m_1, \dots, m_k)$  являются возможными значениями случайного вектора  $\bar{\xi} = (\xi_1, \dots, \xi_k)$ , где  $\xi_1 + \dots + \xi_k \geq 0$ .

В этой связи, мы сделаем следующее соглашение, которое поможет нам избежать громоздких обозначений. В дальнейшем, по мере необходимости, компоненты вектора  $\bar{m}$  будем использовать и как возможные значения и как случайные величины. Если такое соглашение может привести к недоразумениям, то мы будем использовать более подробные рассуждения.

Приведем необходимые результаты для отрицательного полиномиального распределения, изложенные в [7, с. 63], которые



послужат нам основой для построения статистик, используемых для проверки непараметрических гипотез.

Исходя из приведенных данных, отрицательное полиномиальное распределение имеет вид

$$P(\bar{\xi} = \bar{m}) = \frac{(n+m-1)!}{(n-1)!m_1! \dots m_k!} p_0^n p_1^{m_1} \dots p_k^{m_k}, \quad (2)$$

где  $m_1 + m_2 + \dots + m_k = m$ ,  $\bar{m} = (m_1, \dots, m_k)$ ,  $\bar{\xi} = (\xi_1, \dots, \xi_k)$ .

Следующий результат, изложенный в [7, с. 63], относится к аппроксимации вероятностей (2) и является аналогом хорошо известной локальной теоремы для полиномиального распределения [4, с. 88].

**Теорема 1.** При  $n \rightarrow \infty$ ,  $x_i = o\left(n^{\frac{1}{6}}\right)$  и  $k = O(1)$ ,

$$P_n(\bar{\xi} = \bar{m}) = \frac{p_0^{\frac{k+1}{2}}}{(\sqrt{2\pi})^k \sqrt{p_1 \dots p_k}} e^{\frac{1}{2}\left(x_0^2 - \sum_{i=1}^k x_i^2\right)} \cdot \left\{ 1 + \frac{T(x_0, \dots, x_k)}{\sigma} + \varepsilon_n(x_0, \dots, x_k) \right\} \quad (3)$$

где

$$x_0 = \frac{mp_0 - n(1-p_0)}{\sqrt{np_0}}, \quad x_i = \frac{m_i p_0 - np_i}{\sqrt{np_0 p_i}}, \quad (i=1, \dots, k), \quad \varepsilon_n = O\left(\max\left(\frac{x_i^6}{\sigma^2}, \frac{1}{\sigma^2}\right)\right),$$

$$T(x_0, \dots, x_k) = \frac{1}{6}\left(\sum_{i=1}^k \frac{x_i^3}{\sqrt{p_i}} - x_0^3\right) - \frac{1}{2}\left(\sum_{i=1}^k \frac{x_i}{\sqrt{p_i}} - x_0\right), \quad \sigma^2 = \frac{n}{p_0}.$$

В формуле (3) привлекает к себе внимание квадратичная форма  $\chi^2 = x_0^2 - \sum_{i=1}^k x_i^2$ , точнее ее знакоопределенность. Дело в том, что если  $\chi^2$  в некоторой области принимает положительные значения, то правая часть в (3) может оказаться больше единицы. Оказалось, что указанная квадратичная форма является отрицательно определенной. Это положение, с помощью ортогонального преобразования

типа Хельмерта, получено в [7, с. 63]. Более того, с помощью этого преобразования, результат теоремы 1 приводится к преобразованной форме, который позволяет перейти к интегральным теоремам.

**Теорема 2.** При  $n \rightarrow \infty$ ,  $y_i = o\left(n^{\frac{1}{6}}\right)$  и  $k = O(1)$  имеет место

$$P(\bar{\xi} = \bar{m}) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^k} e^{-\frac{1}{2}\sum_{i=0}^{k-1} y_i^2} \Delta y_0 \Delta y_1 \dots \Delta y_{k-1} \left\{ 1 + \frac{T(y_0, \dots, y_{k-1})}{\sigma} + \varepsilon_n(y_0, \dots, y_{k-1}) \right\},$$

где

$$y_0 = \frac{mp_0 - n(1-p_0)}{\sqrt{n(1-p_0)}}, \quad y_i = \frac{m_i u_i - (m - m_1 - \dots - m_{i-1}) p_i}{\sigma \sqrt{p_i u_i u_{i+1}}}, \quad i = 1, \dots, k-1$$

$$\Delta y_0 = \frac{p_0}{\sqrt{n(1-p_0)}}, \quad \Delta y_i = \sqrt{\frac{u_i}{\sigma^2 p_i u_{i+1}}}, \quad \varepsilon_n(y_0, \dots, y_{k-1}) = O\left(\max\left(\frac{y_i^6}{\sigma^2}, \frac{1}{\sigma^2}\right)\right),$$

$$T(y_0, \dots, y_{k-1}) = \frac{1}{6} \left\{ \sum_{i=1}^{k-1} \left[ \frac{u_{i+1} - p_i}{\sqrt{p_i u_i u_{i+1}}} y_i^3 - 3 \frac{u_{i+1} - (k-i)p_i}{\sqrt{p_i u_i u_{i+1}}} y_i \right] - \right. \\ \left. - 3 \sum_{i=1}^{k-1} \sqrt{\frac{p_i}{u_i u_{i+1}}} y_i \sum_{j=i+1}^{k-1} y_j^2 + \frac{1+u_1}{\sqrt{p_0 u_1}} y_0^3 - \frac{3}{\sqrt{p_0 u_1}} y_0 \left( k - u_1 - \sum_{i=1}^{k-1} y_i^2 \right) \right\}$$

Полагая  $m_i$  случайными, определим моменты величин  $y_i$ .

**Теорема 3.** Имеют место следующие соотношения,

$$E y_i = 0, \quad E y_i^2 = 1, \quad E y_i y_j = 0 \quad (i \neq j), \quad i = 0, 1, \dots, k-1.$$

*Доказательство.* Напомним, что

$$u_i = p_i + \dots + p_k, \quad n_i = m_i + \dots + m_k.$$

Известно, что моменты для отрицательного полиномиального распределения имеют вид,

$$\begin{aligned}
 Em_i &= np_i / p_0; \\
 Em_i^2 &= n(n+1) \left( \frac{p_i}{p_0} \right)^2 + \frac{np_i}{p_0}; \\
 E(m_i m_j) &= n(n+1) \frac{p_i p_j}{p_0^2}; \quad (i \neq j), \\
 Dm_i &= \frac{np_i^2}{p_0^2}.
 \end{aligned}$$

Нетрудно подсчитать, что

$$\begin{aligned}
 En_i &= E(m_i + \dots + m_k) = \frac{nu_i}{p_0}; \\
 En_i^2 &= n(n+1) \left( \frac{u_i}{p_i} \right) + \frac{nu_i}{p_0}; \\
 E(n_i n_j) &= n(n+1) \frac{u_i u_j}{p_0^2} u_i^2 + \frac{nu_i}{p_0}; \quad (i > j), \\
 E(n_i m_j) &= n(n+1) \frac{u_i p_j}{p_0^2}; \quad (i > j).
 \end{aligned}$$

Используя приведенные соотношения, будем иметь:

$$\begin{aligned}
 Ey_i &= 0, \quad i = 0, 1, \dots, k-1, \\
 Ey_i^2 &= \frac{p_0}{np_i u_i u_{i+1}} E \left\{ (m_i u_i)^2 - 2m_i n_i u_i p_i + (n_i p_i)^2 \right\} = \frac{p_0}{np_i u_i u_{i+1}} \left\{ (n+1)n \left[ \left( \frac{u_i p_i}{p_0} \right)^2 - \right. \right. \\
 &\left. \left. - 2 \frac{u_i p_i}{p_0} + \left( \frac{u_i p_i}{p_0} \right)^2 \right] + n \left[ \frac{p_i u_i^2}{p_0} - 2 \frac{u_i p_i^2}{p_0} + \frac{p_i^2 u_i}{p_0} \right] \right\} = \frac{p_0}{np_i u_i u_{i+1}} \frac{np_i u_i u_{i+1}}{p_0} = 1
 \end{aligned}$$

При  $i > j$  и  $c = p_0^2 (n^2 p_i u_i u_{i+1} p_j u_j u_{j+1})^{-1}$ , имеем

$$\begin{aligned} E(y_i y_j) &= cE(m_i u_i - n_i p_i)(m_j u_j - n_j p_j) = \\ &= cE(m_i m_j u_i u_j - m_i n_j u_i p_j - n_i m_j p_i u_j + n_i n_j p_i p_j) = \\ &= (n+1)\sigma(p_i p_i u_i u_i - p_i p_i u_i u_i - p_i p_i u_i u_i + \\ &\quad + u_i u_j p_i p_j) - \sigma(p_i p_j u_j - p_i p_j u_j) = 0 \end{aligned}$$

*Теорема доказана.*

На основании результатов в теоремах 2 и 3, рассмотрим следующие статистики:

$$\begin{aligned} S_1 &= c_0 y_0 + c_1 y_1 + \dots + c_{k-1} y_{k-1}, \quad (c_0^2 + c_1^2 + \dots + c_{k-1}^2 = 1), \\ S_2 &= x_0^2 - \sum_{i=1}^k x_i^2 = \sum_{i=0}^{k-1} y_i^2, \quad S_3 = \max_{0 \leq i \leq k-1} |y_i|, \end{aligned}$$

где соответствующие величины определены в (1).

На основании результатов в [7, с. 63], запишем предельные распределения введенных статистик. При  $n \rightarrow \infty$  имеем

$$\begin{aligned} P(S_1 \leq x) &\sim \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t}{2}} dt, \\ P(S_2 \leq x) &\sim \frac{1}{2^{\frac{k}{2}} \Gamma\left(\frac{k}{2}\right)^0} \int_0^x e^{-\frac{t}{2} t^{\frac{k}{2}-1}} dt, \quad (4) \\ P(S_3 \leq x) &\sim \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-x}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt \right)^k. \end{aligned}$$

Приведенные статистики могут быть использованы для построения соответствующих критериев значимости, при проверке непараметрических гипотез. В дальнейшем, нас будет интересовать

вопрос о поведении мощностей этих критериев. Первой задачей является изучение мощности критерия, связанного с линейной статистикой  $S_1$ . При этом, задача состоит в том, чтобы на основании выборочных значений подобрать коэффициенты  $c_i$  так, чтобы они доставляли максимум мощности рассматриваемого критерия.

**Теорема 4.** Наибольшая мощность критерия, основанного на линейной статистике  $S_1$ , достигается при значениях

$$c_i = \delta_i \left( \sum_{j=0}^{k-1} \delta_j^2 \right)^{-\frac{1}{2}}, \quad \delta_0 = \frac{-\gamma_0}{\sqrt{q_0 u_1}}, \quad \delta_i = \frac{\sqrt{p_0} (\gamma_i u_i - p_i w_i)}{\sqrt{q_0^2 p_i u_i u_{i+1}}},$$

$$w_i = \gamma_i + \dots + \gamma_{k-1}.$$

*Доказательство.* Из теоремы 3 следует, что

$$E(S_1 | H_0) = 0, \quad D(S_1 | H_0) = 1.$$

Следовательно, при выполнении нулевой гипотезы статистика  $S_1$  имеет стандартный нормальный закон распределения. Рассматривая двухсторонний критерий и задавая уровень значимости  $\alpha$ , определим  $t_\alpha$  из

$$P(|S_1| \leq t) = \Phi(t) - \Phi(-t) = 1 - \alpha.$$

Выражение для функции мощности примет вид:

$$\pi(S_1, H_1) = 1 - P(|S_1| \leq t_\alpha | H_1). \quad (5)$$

Таким образом, наша задача свелась к нахождению условного распределения  $P(|S_1| \leq t | H_1)$ .

Покажем, что при выполнении гипотезы  $H_1$  статистика  $S_1$  в пределе, при  $n \rightarrow \infty$  имеет нормальный закон распределения.

Для этого нам потребуются преобразования, приспособленные для гипотез  $H_0$  и  $H_1$  соответственно.

При выполнении гипотезы  $H_0$ , приведем прямое и обратное преобразования:

$$x_0 = \sum_{i=1}^k x_i \sqrt{p_i} = \sqrt{\frac{u_1}{p_0}} y_0,$$

$$x_i = \sqrt{\frac{p_i}{p_0 u_1}} y_0 - \sqrt{p_i} \sum_{j=1}^{i-1} \sqrt{\frac{p_j}{u_i u_{j+1}}} y_j + \sqrt{\frac{u_{i+1}}{u_i}} y_i, \quad (i = 1, \dots, k),$$

$$y_i = \sqrt{\frac{u_{i+1}}{u_i}} x_i - \sqrt{\frac{p_i}{u_i u_{i+1}}} \sum_{j=i+1}^k x_j \sqrt{p_j}, \quad (i = 1, \dots, k-1).$$

При выполнении гипотезы  $H_1$  прямое и обратное преобразования имеют вид:

$$t_0 = \sum_{i=1}^k t_i \sqrt{q_i} = \sqrt{\frac{v_1}{q_0}} z_0,$$

$$t_i = \sqrt{\frac{q_i}{q_0 v_1}} z_0 - \sqrt{q_i} \sum_{j=1}^{i-1} \sqrt{\frac{q_j}{v_i v_{j+1}}} z_j + \sqrt{\frac{v_{i+1}}{v_i}} z_i, \quad (i = 1, \dots, k),$$

$$z_i = \sqrt{\frac{v_{i+1}}{v_i}} t_i - \sqrt{\frac{q_i}{v_i v_{i+1}}} \sum_{j=i+1}^k t_j \sqrt{q_j}, \quad (i = 1, \dots, k-1).$$

Нетрудно заметить, что соотношения в (6) и (7) имеют одну и ту же структуру, различие проявляется в обозначениях: при гипотезе  $H_0$  мы используем вероятности  $p_0, \dots, p_k$ , а при альтернативной гипотезе  $H_1$  вероятности  $q_0, \dots, q_k$ . Отсюда, соответственно  $u_i = p_i + \dots + p_k$  заменяется на  $v_i = q_i + \dots + q_k$ .

Из соотношений (1) следует,

$$x_0 = \sqrt{\frac{p_0}{q_0}} t_0 + \sqrt{n} \frac{p_0 v_1 - q_0 u_1}{\sqrt{p_0 q_0^2}} = t_0 \sqrt{\frac{p_0}{q_0}} + \sqrt{n} \frac{p_0 - q_0}{\sqrt{p_0 q_0^2}}, \quad (8)$$

$$x_i = \sqrt{\frac{p_0 q_i}{q_0 p_i}} t_i + \sqrt{n} \frac{p_0 q_i - q_0 p_i}{\sqrt{p_0 p_i q_0^2}}.$$

На последующем этапе доказательства, нам потребуется выразить  $U_i$  через  $Z_j$ . Для этого, выражение для  $X_i$  из (8) подставим в соотношение для  $Y_i$  в (6). В результате получим следующее промежуточное выражение,

$$y_i = \sqrt{\frac{p_0}{q_0 p_i u_i u_{i+1}}} \left( \sqrt{q_i} u_{i+1} t_i - p_i \sum_{j=i+1}^k t_j \sqrt{q_j} \right) + \sqrt{\frac{np_0}{q_0^2 p_i u_i u_{i+1}}} (u_i q_i - p_i v_i).$$

Определяя из (7) выражение для  $\sum_{j=i+1}^k t_j \sqrt{q_j}$  и подставляя

его в предыдущее соотношение получим,

$$y_i = \sqrt{\frac{p_0}{q_0 p_i u_i u_{i+1}}} \left\{ (u_i q_i - p_i v_i) \left[ \frac{t_0}{v_1} - \sum_{j=i+1}^k z_j \sqrt{\frac{q_j}{v_j v_{j+1}}} + \sqrt{\frac{v_{i+1}}{q_i v_i}} z_i \right] + \right. \\ \left. + p_i \sqrt{\frac{v_i v_{i+1}}{q_i}} z_i + \sqrt{\frac{n}{q_0}} (u_i q_i - p_i v_i) \right\}.$$

Подставляя выражение для  $t_0$  из (7) в последнее выражение и проведя соответствующие выкладки, получим

$$y_i = \sqrt{\frac{p_0}{q_0 p_i u_i u_{i+1}}} \left\{ (u_i q_i - p_i v_i) \left[ \frac{z_0}{v_1 q_0} - \sum_{j=1}^{i-1} z_j \sqrt{\frac{q_j}{v_j v_{j+1}}} + \sqrt{\frac{n}{q_0}} \right] + u_i \sqrt{\frac{q_i v_{i+1}}{v_i}} z_i \right\}. \quad (9)$$

Напомним, что при выполнении гипотезы  $H_1$  имеем,

$$Ey_i = 0, \quad Ey_i^2 = 1, \quad Ey_i y_j = 0 \quad (i \neq j), \quad i = 0, 1, \dots, k-1. \quad (10)$$

В силу того, что выражение для  $y_0$  не определяется закономерностью для всех остальных  $y_i$ , ( $i = 0, 1, \dots, k-1$ ), то вычисляемые моменты, с участием  $y_0$  выделим отдельно.

$$\text{Так как } y_0 = \frac{p_0}{q_0} \sqrt{\frac{v_1}{u_1}} z_0 + \sqrt{\frac{n}{u_1 q_0^2}} (p_0 - q_0),$$

$$\text{то } E(y_0 | H_1) = \sqrt{\frac{n}{u_1 q_0^2}} (p_0 - q_0).$$

Далее, на основании (10), из (9) получим,

$$E(y_i | H_1) = \sqrt{\frac{p_0}{q_0 p_i u_i u_{i+1}}} (u_i q_i - p_i v_i).$$

Приступим к нахождению дисперсий, при выполнении гипотезы  $H_1$ .

$$D(y_0 | H_1) = \frac{p_0^2 v_1}{q_0^2 u_1},$$

$$D(y_i | H_1) = \frac{p_0}{q_0 p_i u_i u_{i+1}} \left\{ (u_i q_i - p_i v_i)^2 \left[ \frac{1}{v_1 q_0} - \sum_{j=1}^{i-1} \frac{q_j}{v_j v_{j+1}} \right] + \frac{u_i^2 q_i v_{i+1}}{v_i} \right\}.$$

Упростим выражение для суммы,

$$\sum_{j=1}^{i-1} \frac{q_j}{v_j v_{j+1}} = \left( \frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} \right) + \left( \frac{1}{v_3} - \frac{1}{v_2} \right) + \dots + \left( \frac{1}{v_i} - \frac{1}{v_{i-1}} \right) = \frac{1}{v_i} - \frac{1}{v_1}.$$



Следовательно,

$$D(y_i|H_1) = \frac{p_0}{q_0 p_i u_i u_{i+1}} \left\{ (u_i q_i - p_i v_i)^2 \left[ \frac{1}{v_1 q_0} - \frac{1}{v_i} + \frac{1}{v_1} \right] + \frac{u_i^2 q_i v_{i+1}}{v_i} \right\}.$$

Вычислим ковариации, при выполнении  $H_1$ .

$$\begin{aligned} \text{Cov}(y_0, y_i|H_1) &= \left( \frac{p_0}{q_0} \right)^2 \frac{1}{\sqrt{u_1}} \frac{u_i q_i - p_i v_i}{\sqrt{p_i u_i u_{i+1}}}, \\ &(i = 0, 1, \dots, k-1). \end{aligned}$$

Следующие ковариации определяются при  $i < v$

$$\begin{aligned} \text{Cov}(y_i, y_v|H_1) &= \frac{p_0}{q_0 \sqrt{p_i u_i u_{i+1} p_v u_v u_{v+1}}} \left\{ (u_i q_i - p_i v_i)(u_v q_v - p_v v_v) \left[ \frac{1}{v_1 q_0} - \frac{v_1 - v_i}{v_1 v_i} \right] - \right. \\ &\quad \left. - (u_v q_v - p_v v_v) \frac{q_i p_i}{v_i} \right\}. \end{aligned}$$

Для нахождения предельных соотношений вычисленных моментов, при  $n \rightarrow \infty$  отметим, что

$$u_i q_i - p_i v_i = u_i \left( p_i + \frac{\gamma_i}{\sqrt{n}} \right) - p_i \left( u_i + \frac{w_i}{\sqrt{n}} \right) = \frac{u_i \gamma_i - p_i w_i}{\sqrt{n}}.$$

Таким образом, на основании последнего соотношения, вычисленные ранее моменты, примут вид:

$$E(y_0|H_1) = \frac{\gamma_0}{u_1 q_0^2}, \quad E(y_i|H_1) = \frac{\sqrt{p_0} (u_i \gamma_i - p_i w_i)}{\sqrt{q_0^2 p_i u_i u_{i+1}}}, \quad (i = 0, 1, \dots, k-1)$$

;

$$D(y_0|H_1) = \frac{p_0^2}{u_1} \left( u_1 + \frac{w_1}{\sqrt{n}} \right) \left( p_0 + \frac{\gamma_0}{\sqrt{n}} \right)^{-2};$$

$$D(y_i|H_1) = \frac{p_0}{q_0 p_i u_i u_{i+1}} \left\{ \frac{(u_i \gamma_i - p_i w_i)^2}{n} \left[ \frac{1}{v_1 q_0} - \frac{1}{v_i} + \frac{1}{v_1} \right] + u_i^2 \left( p_i + \frac{\gamma_i}{\sqrt{n}} \right) \times \right.$$

$$\times \left( u_{i+1} + \frac{w_i}{\sqrt{n}} \right) \left( u_i + \frac{w_i}{\sqrt{n}} \right)^{-1} \Bigg\};$$

$$\text{Cov}(y_0, y_i | H_1) = \left( \frac{p_0}{q_0} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{u_i \gamma_i - p_i w_i}{\sqrt{nu_1 p_i u_i u_{i+1}}}, \quad (i = 0, 1, \dots, k-1);$$

$$\text{Cov}(y_i, y_\nu | H_1) = \frac{p_0}{q_0 \sqrt{p_i u_i u_{i+1} p_\nu u_\nu u_{\nu+1}}} \left\{ \frac{(u_i \gamma_i - p_i w_i)(u_\nu \gamma_\nu - p_\nu w_\nu)}{n} \left[ \frac{1}{v_1 q_0} - \frac{v_1 - v_i}{v_1 v_i} \right] - \frac{u_\nu \gamma_\nu - p_\nu w_\nu}{\sqrt{nv_i}} q_i u_i \right\} \quad (i \neq \nu).$$

Переходя к пределу при  $n \rightarrow \infty$  в полученных выражениях для моментов получим,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} E(y_0 | H_1) = \frac{\gamma_0}{\sqrt{u_1 p_0}} = \frac{u_i \gamma_0 - p_0 w_0}{\sqrt{p_0^2 u_0 u_1}} = \delta_0, \quad (w_0 = 0, u_0 = 1),$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} E(y_i | H_1) = \frac{u_i \gamma_i - p_i w_i}{\sqrt{p_0 p_i u_i u_{i+1}}} = \delta_i, \quad (i = 0, 1, \dots, k-1),$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} D(y_i | H_1) = 1, \quad (i = 0, 1, \dots, k-1),$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \text{Cov}(y_i, y_\nu | H_1) = 0, \quad (i \neq \nu).$$

Определим предельный закон распределения при  $n \rightarrow \infty$  для величин  $y_i$ , при выполнении гипотезы  $H_1$ . Напомним, что при выполнении гипотезы  $H_0$ , величины  $y_i$  имеют стандартный нормальный закон распределения. С другой стороны, из  $q_i = p_i + \gamma_i / \sqrt{n}$  следует, что при  $n \rightarrow \infty$ ,  $q_i \rightarrow p_i$ . Отсюда делаем вывод, что при  $n \rightarrow \infty$  величины  $y_i$ , при выполнении гипотезы  $H_1$ , имеют нормальный закон распределения с моментами, определенными в (10) и к тому же, являющимися независимыми. Из сказанного следует, что статистика  $S_1$  имеет нормальный закон распределения с параметрами

$$E(S_1|H_1) = \sum_{i=0}^{k-1} c_i \delta_i = \delta, \quad D(S_1|H_1) = c_0^2 + c_1^2 + \dots + c_{k-1}^2 = 1. \quad (11)$$

Следовательно, на основании (5), при  $n \rightarrow \infty$

$$\pi(\delta) = 1 - \{\Phi(t_\alpha + \delta) - \Phi(-t_\alpha + \delta)\}. \quad (12)$$

Правая часть выражения (12) ведет себя монотонно и будет тем больше, чем больше значение  $|\delta|$ . Следовательно, мы приходим к классической задаче на условный экстремум, т. е. в соотношениях (11) нужно подобрать такие  $c_i$ , которые доставляют максимум для значения  $\delta$ .

Запишем решение этой задачи,

$$c_i = \mp \delta_i \left( \sum_{j=0}^{k-1} \delta_j^2 \right)^{-\frac{1}{2}}, \quad \delta = \pm \left( \sum_{i=0}^{k-1} \delta_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}.$$

*Теорема 4 доказана.*

*Замечание 1* Поясним вероятностный смысл параметра  $\delta$ . Для этого нам потребуется лемма, рассмотренная в [1, с.21], [2, с.42].

*Лемма.* Пусть квадратичная форма определяется соотношениями

$$\lambda^2 = x_0^2 + x_1^2 + \dots + x_k^2, \quad c_0 x_0 + c_1 x_1 + \dots + c_k x_k = \tau$$

тогда, с помощью ортогонального преобразования

$$x_i = \frac{c_i}{\omega_1} \frac{\tau}{\omega_1} - c_i \sum_{j=1}^{i-1} \frac{c_j}{\omega_j \omega_{j+1}} y_j + \frac{\omega_{i+1}}{\omega_i} y_i,$$

$$\omega_i^2 = c_i^2 + \dots + c_k^2, \quad i = 0, 1, \dots, k, \quad \sum_{j=0}^{-1} \equiv 0, \quad \omega_{k+1} \equiv 0, \quad y_k \equiv 0,$$

приводится к виду  $\chi^2 = \frac{\tau^2}{\omega_1^2} + \sum_{i=0}^{k-1} y_i^2$ .

Рассмотрим квадратичную форму

$$\lambda^2 = \frac{n}{p_0} \sum_{i=0}^k \frac{(q_i - p_i)^2}{p_i}, \quad \frac{q_0 - p_0}{\sqrt{p_0}} \sqrt{p_0} + \dots + \frac{q_k - p_k}{\sqrt{p_k}} \sqrt{p_k} = 0.$$

Применяя лемму и учитывая, что  $\frac{\gamma_i}{\sqrt{n}} = q_i - p_i$  получим,

$$\lambda^2 = \frac{n}{p_0} \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(u_i \gamma_i - p_i w_i)^2}{p_i u_i u_{i+1}} = \sum_{i=0}^k \frac{\gamma_i^2}{p_0 p_i} = \delta^2.$$

Таким образом,  $\delta$ , являясь параметром сдвига в (12), характеризует расхождение между гипотезами. Сам факт того, что мощность критерия увеличивается с увеличением расхождения между гипотезами  $H_0$  и  $H_1$ , не является примечательным, важно, что из всех линейных критериев, он является оптимальным.

*Замечание 2* Рассмотрим обоснование выбора плотности для альтернативной гипотезы  $H_1$ , т. е. вид  $q(x) = p(x) + \gamma(x)/\sqrt{n}$ . Для этого, как и в [2, с. 42], рассмотрим расширенную альтернативную гипотезу  $H_\gamma$ , связанную с плотностью

$$q(x) = p(x) + \frac{\gamma(x)}{n^\beta}, \quad (\beta > 0).$$

Из этого следует, что при  $n \rightarrow \infty$ ,  $q(x) \rightarrow p(x)$ . Так как при выполнении гипотезы  $H_0$ , величины  $y_i$  имеют нормальный закон распределения, то при  $n \rightarrow \infty$  и выполнении гипотезы  $H_\gamma$ , величины  $y_i$  также имеют нормальный закон распределения. Представим соответствующие моменты для  $y_i$ , при выполнении гипотезы  $H_\gamma$ . При  $n \rightarrow \infty$  имеем,

$$E(y_i | H_\gamma) = \frac{u_i \gamma_i - p_i w_i}{\sqrt{q_0 p_i u_i u_{i+1}}} n^{\frac{1}{2}-\beta},$$

$$D(y_i|H_\gamma) = 1 + O\left(\frac{1}{n^\beta}\right),$$

$$\text{Cov}(y_i, y_j|H_\gamma) = O\left(\frac{1}{n^\beta}\right), \quad (i \neq j).$$

Следовательно:

1) При  $\beta > 1/2$  и  $n \rightarrow \infty$ , математическое ожидание стремится к нулю, также как и ковариация, а дисперсия стремится к единице. При этом мощность критерия совпадает с размером критерия  $\alpha$ , при любых альтернативах  $\gamma(x)$ . Другими словами, критерий не различает гипотезы  $H_0$  и  $H_\gamma$ .

2) Пусть  $\beta < 1/2$ . В этом случае, при  $n \rightarrow \infty$ , математическое ожидание стремится к бесконечности, не зависимо от  $\gamma$ . То есть, хотя мощность критерия и стремится к 1, но критерий также не отличает альтернативы по  $\gamma$ .

3) Содержательным случаем является  $\beta = 1/2$ .

Как следует из (4) статистика  $S_2$  имеет распределение хи-квадрат с  $k$ -степенями свободы. Следовательно, критерий, основанный на статистике  $S_2$ , является аналогом классического критерия  $\chi^2$ , мощность которого определяется с помощью нецентрального хи-квадрат распределения. Наш случай вывода функции мощности критерия, основанного на статистике  $S_2$ , практически ничем не отличается от вывода функции мощности для критерия  $\chi^2$ , рассмотренного в [2, с. 42].

Задавая уровень значимости  $\alpha$ , определим критическую точку  $x_\alpha$ . Функция мощности рассматриваемого критерия определяется равенством,

$$\pi(S_2, H_1) = 1 - P(S_2 \leq x_\alpha | H_1) = \sum_{S_2 > x_\alpha} P_n(\bar{m}, \bar{q}).$$

**Теорема 5.**

$$P(S_2 \leq x | H_1) = \frac{1}{2^{\frac{k}{2}} \Gamma\left(\frac{k-1}{2}\right) \Gamma\left(\frac{1}{2}\right)} \int_0^x e^{-\frac{z+\lambda}{2}} z^{\frac{k-2}{2}} \sum_{r=0}^{\infty} \frac{(\lambda z)^r}{(2r)!} B\left(\frac{k-1}{2}, r + \frac{1}{2}\right) dz + O\left(\frac{1}{n}\right)$$

где  $\lambda^2 = \frac{1}{P_0} \sum_{i=0}^k \frac{\gamma_i^2}{P_i}$ ,  $B(a, b)$  — бета функция.

Задавая уровень значимости  $\alpha$ , на основании (7) определим критическое значение  $t_\alpha$ . В этом случае, функция мощности имеет вид

$$\pi(S_3, H_1) = 1 - P(S_3 \leq x_\alpha | H_1) = \sum_{S_3 > x_\alpha} P_n(\bar{m}, \bar{q}).$$

По аналогии с [1, с. 21], для функции мощности имеем следующее утверждение.

**Теорема 6.**

$$\pi(S_3, H_1) = 1 - \prod_{i=0}^{k-1} \{\Phi(x_\alpha + c_i) - \Phi(x_\alpha - c_i)\} + O\left(\frac{1}{n}\right),$$

где  $c_i = \frac{u_i \gamma_i - P_i w_i}{\sqrt{P_0 P_i u_i u_{i+1}}}$ , ( $i = 0, 1, \dots, k-1$ ).

Возвращаясь к величинам  $u_i$  в (9) и полагая их случайными нам известно, что  $u_i$  независимые (точнее, асимптотически независимые), одинаково распределенные величины, где каждое из них имеет стандартный нормальный закон распределения. Такое положение вещей позволяет рассмотреть еще некоторые критерии, основанные на распределениях Стьюдента с  $(k-1)$  степенями свободы, Фишера с  $(r+1, k-r-1)$  степенями свободы соответственно. Сведения об этих распределениях можно получить в [3, с. 115].

### **Список литературы:**

1. Аренбаев Н.К., К проверке статистических гипотез, Вестник КазГУ, (математика, механика, информатика), 4, Алматы, 1996. — С. 21—28.
2. Аренбаев Н.К., О двух критериях значимости, Вестник КазНУ, (серия математика, механика, информатика), 2(41), Алматы, 2004. — С. 42—50.
3. Большев Л.Н., Смирнов Н.В., Таблицы математической статистики, М.: «Наука», 1983. — 416 с.
4. Калинин В.М., Предельные свойства вероятностных распределений, Труды ордена Ленина Математического института им. Стеклова В.А., (Исследования по математической статистике), 104, Л.: «Наука», 1968. — С. 88—134.
5. Кендалл М.Дж., Стьюарт А., Теория распределений, М.: «Наука», 1966. — 566 с.
6. Крамер Г., Математические методы статистики, М.: Мир, 1975. — 648 с.
7. Нуртаева Д.К., Предельное поведение отрицательного полиномиального распределения при нормировке содержащей произвольный параметр, Вестник КазНУ, (серия математика, механика, информатика), № 1(52), Алматы, 2007. — С. 63—70.

## СЕКЦИЯ 2.

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

#### 2.1. ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

#### ТЕХНОЛОГИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ И ВИРТУАЛЬНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ PIS-КОНТРОЛЛЕРОВ В АВТОМАТИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

*Абузьяров Владимир Николаевич*

*соискатель, старший преподаватель*

*Филиала Московского технологического института «ВТУ»*

*в г. Оренбурге,*

*г. Оренбург*

*E-mail: [vnab@bk.ru](mailto:vnab@bk.ru)*

*Щудро Игорь Анатольевич*

*канд. техн. наук, зав. кафедрой информатики и автоматизации, доцент*

*Филиала Московского технологического института «ВТУ»*

*в г. Оренбурге,*

*г. Оренбург*

*E-mail: [shudro@yandex.ru](mailto:shudro@yandex.ru)*

*Елисеев Владимир Николаевич*

*соискатель, старший преподаватель*

*Филиала Московского технологического института «ВТУ»*

*в г. Оренбурге,*

*г. Оренбург*

*E-mail: [evsei86@mail.ru](mailto:evsei86@mail.ru)*



# TECHNOLOGY PROGRAMMING AND VIRTUAL PROGRAMMING PIC-CONTROLLER IN THE AUTOMATIC PROCESS

*Abuzyarov Vladimir*

*applicant, a senior lecturer  
of the Moscow branch of Institute of Technology "WTU" in Orenburg,  
Orenburg*

*Schudro Igor*

*candidate of Science, Head of Department Informatics and Automation,  
assistant professor  
of the Moscow branch of Institute of Technology "WTU" in Orenburg,  
Orenburg*

*Eliseev Vladimir*

*applicant, a senior lecturer  
of the Moscow branch of Institute of Technology "WTU" in Orenburg,  
Orenburg*

## АННОТАЦИЯ

В данной статье авторы рассматривают метод практического применения программирования PIC-контроллеров. Микроконтроллеры являются основой микропроцессорной техники. Большое значение имеет виртуальное программирование, что позволяет сократить время и ресурсы на эксперимент, а также использовать различные электрические схемы в виртуальном режиме.

## ABSTRACT

In this article the authors examine the practical application of the method of programming PIC-controllers. Microcontrollers are the basis of microprocessor technology. Of great importance is the virtual programming, which reduces the time and resources to experiment and use a variety of electrical circuits in a virtual mode.

**Ключевые слова:** виртуальное программирование; микроконтроллер; компиляция.

**Keywords:** virtual programming, microcontroller; compilation.

Основу автоматических систем управления составляют различные электронные микроконтроллеры. К их числу относятся AVR и PIC. Несмотря на массовое применение, существуют различные

трудности при программировании таких микроконтроллеров. AVR и PIC-контроллеры имеют несколько уровней сложности: низкий, средний и высокий. Такое различие требует и различные действия при программировании, что вносит путаницу и отнимает массу времени.

В различных публикациях описывается последовательность действий для конкретного микрочипа, а среда разработки программного обеспечения зачастую недоступна для пользователей. Данную проблему можно решить на примере микросхемы PIC-16F877A, которая относится к среднему уровню сложности [4]. В техническом описании такие изделия программируются на языке ASSEMBLER[2]. Вместе с тем на практике можно применить язык программирования высокого уровня Си. Необходимо иметь в виду, что для успешного решения такой задачи требуется соответствующий программатор. Дорогим, но надежным является PIC-KIT™2. Программирование можно осуществить в среде MPLABIDE8.46. Используя Интернет-ресурсы применим компилятор PICCCOMPILER. Большую помощь при этом могут оказать известные публикации: Шпак Ю.А. «Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров» (2011), Крупник А.Б. «Изучаем Си» (2001).

Интерес к микроконтроллерам высок благодаря их многофункциональности, компактности, доступности для изучения. Но вместе с тем такие электронные технологии для своего применения требуют и определенных знаний в области информатики и электроники. Данная статья имеет своей целью не только ознакомить читателя с техническими возможностями микрочипа PIC-16F877A, но и показать возможность его программирования, а также распространить уже имеющийся опыт изготовления робота, в основе которого имеется такой PIC-контроллер. Публикаций на данную тему не достаточно и есть уверенность, что новая информация поможет развить интерес молодежи к изучению и программированию таких микрочипов.

PIC-16F877A — это микроконтроллер, который имеет высокоскоростную RISC архитектуру. Его технические характеристики достаточно высоки, а рыночная цена вполне приемлема, что также определяет повышенный спрос этой микросхемы. Она имеет: 35 инструкций, 20 МГц тактовый сигнал, 14 источников прерываний, 8-уровневый аппаратный стек, 2 В—5,5 В напряжение питания, малое энергопотребление (20мкА), два модуля сравнение/захват/ШИМ (ССР), многоканальное 10-разрядное АЦП, последовательный синхронный порт MSSP, последовательный синхронно-асинхронный приемопередатчик USARTс поддержкой детектирования

адреса. Микрочип имеет 40 выводов, несколько входных и выходных портов, техническое описание переведено на русский язык.

Задача программирования PIC-контроллера не тривиальна. Трудность заключается в том, что последовательность его действий должна быть заранее predetermined, базовая платформа создана, электронная схема исправна и работает «в ручном» режиме. Это задача инженера и она мало беспокоит программистов. Но такой подход к делу приносит мало пользы. Нужны такие специалисты, для которых важен весь процесс разработки и применения робототехнических изделий. При такой постановке вопроса междисциплинарные знания приобретают первостепенное значение. Не вдаваясь в физическую сущность работы микроконтроллера, можно предложить уже опробованный на конкретном образце вариант действий для программирования PIC-16F877A.

Рассмотрим процесс компиляции программы. Проект компилируется с помощью подключенного компилятора CCS-PICC непосредственно в среде MPLAB. Выполнение команды меню Project Compile позволит открыть окно состояния компилятора CSS-PICC. Исходный файл `cod`, который требуется при отладке, можно создать, выполнив несколько манипуляций: в среде MPLAB необходимо выполнить команду меню Project-Build Options. В этом диалоговом окне требуется перейти на вкладку CCSC Compiler. В группе параметров Debug выбрать переключатель Expanded COD Format и нажать «ОК». Конкретный микроконтроллер выбирается на этапе создания проекта. Для перевода MPLAB в режим программной эмуляции выбирается меню Debugger-SelectTool-MPLABSIM. Эти манипуляции позволяют отобразить панель инструментов Debug с кнопками для отладки. Для настройки параметров эмуляции необходимо выполнить команду меню Debugger-Setting. В данном окне открыть вкладку OSC, в которой выбирается частота осциллятора. Останов эмуляции осуществляется с помощью команд расположенных во вкладке Break Options. В меню Debugger имеются команды для отладки программы в случаях прерывания. Для восстановления или удаления точки прерывания необходимо дважды кликнуть мышкой на сером фоне и выполнить команду меню Set Break Point. Для перехода в отладочный режим используют команды меню Debugger. Вызов окон отладчика осуществляется с помощью меню New. Эти окна способствуют просмотру содержимого регистров управления во время выполнения программы. После активации кнопки Add SFR создается элемент для просмотра регистра управления. После всего изложенного уже не трудно понять

весь процесс программирования и, как следствие, область применения PIC-16F877A.

Фредерик Жимарши в книге «Сборка и программирование мобильных роботов», анализируя сложившиеся тенденции программистов в написании алгоритмов, предостерегает от традиционного подхода моделирования среды, близкой мобильному роботу [1]. Такой вывод закономерен, так как он подразумевает использование сложной математической системы расчетов и как следствие большого объема памяти. Используемые датчики должны при этом обладать исключительной точностью, что невозможно в связи с возникающими различными погрешностями. Предлагается другой подход, а именно использовать архитектуру приоритетных взаимодействий, что позволит собрать в единую согласованную систему все элементы управления мобильным роботом. Идея заключается в объединении восприятия и движения, что потребует лишь незначительных математических ресурсов. В развитие этой идеи предлагается метод приоритетного взаимодействия для программирования роботов. Такая технология предполагает использование приоритетов: реакции поведения высших порядков временно блокируют низшие до исчезновения условий вызвавших этот приоритет. Таким образом, происходит учет каждого события и соответствующей реакции. Преимущество подхода приоритетного взаимодействия очевидно, так как данный способ программирования разбивается на отдельные задачи, которые работают одновременно в параллельном режиме, что позволит запрограммировать каждую задачу отдельно, а значит, появится возможность добавления новых функций без утраты уже существующих. Трудность может возникнуть при увязке и расстановке приоритетов. В случае одновременной работы нескольких программ необходимо использовать систему работы в режиме реального времени, что предполагает использование основной программы, которая будет выделять одинаковое количество времени для выполнения каждой задачи. При применении подхода приоритетного взаимодействия используют две переменные: одна из них для команды на микромоторчики, а другая оповещает систему о желаемой передаче сигнала на исполнительный элемент. Эта переменная называется флагом. Соответствующая программа имеет вид:

```
int Default command; // Команда на двигатели
int Default flag; // Флаг для системы
void Default () Default command = Shutdown ; // Робот остановлен
Default tflag=1; // Команда активирована.
```

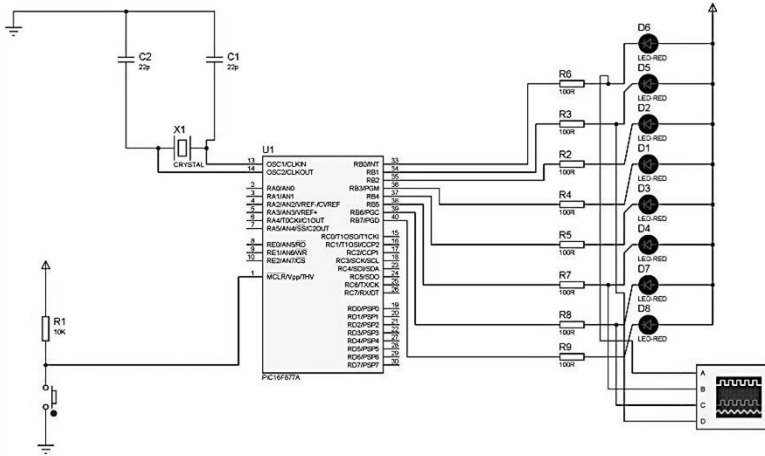
Такой подход программирования вполне применим для PIC-16F877A.

Пример программы PIC-16F877A для системы слежения: start:low0/ Низкий уровень шины 0 low1/Низкий уровень шины 1 pot2,255,b0/ Чтение показаний фотоэлемента 1 pot3,255,b1/ Чтение показаний фотоэлемента 2 if b0 to b1 then start/ Если показания равны, то ничего не делать if b0 b1 then greater/ Если больше, то насколько if b0 b1 then lesser/ Если меньше, то насколько greater:/ Процедура больше b2=b0-b1/ Определение разницы показаний if b2=10t hen cw/ Внутри границ? Если нет, перейти на cw goto start:/ Если внутри границ, измерять снова lesser:/ Процедура меньше b2=b1-b0/Определение разницы показаний if b2≠10 then csw/ Внутри границ? Если нет, перейти на csw goto start:/ Если внутри границ, измерять снова csw:/ Поворот блока по часовой стрелке hig 0/Включить мост pause 100/Вращение 0,1 с goto start/ Новая проверка csw:/ Поворот блока против часовой стрелки hig 1/Включить мост pause 100/Вращение 0,1 с goto start/ Новая проверка [3].

В данной программе задействованы два датчика — фотодиода. При их разной освещенности происходит поворот всей системы. При одинаковой освещенности поворота не происходит.

Конечно, все изложенное требует наличие конкретных электронных устройств и денежных затрат. Вместе с тем работу отлаженного кода можно проверить виртуально, используя среду Proteus. Запускается Proteus ISIS, в режиме Component необходимо нажать Pic from libraries и в списке PIC добавить наш PIC16F877A, далее выбирается LED-RED, RES и все другие компоненты схемы, которые соответственно добавляются в форму.

Включается кнопка «стрелка» и расставляются все элементы по принципиальной виртуальной электрической схеме. Для редактирования параметров необходимо щелкать левой кнопкой мыши на нужном элементе и в появляющемся окне выставлять технические параметры элемента. Все соединения в схеме выполняются с помощью курсора и левой кнопкой мыши. Код программы (HEX-файл) ищется в соответствующей строке свойств микроконтроллера и производится его запоминание (рисунок 1).



**Рисунок 1. Виртуальная электрическая схема**

Перед нажатием «PLAY» нажимается кнопка обнуления в схеме. После проведенных манипуляций схема работоспособна. В случае отказа, необходимо проанализировать работу кода программы и правильность соединений в принципиальной схеме, а также расположение компонентов.

### Список литературы:

1. Жимарши Ф. Сборка и программирование мобильных роботов в домашних условиях / Ф. Жимарши; пер. с фр. М.А. Комаров. М.: НТ Пресс, 2007. — 288 с. : ил.
2. Корабельников А.А. Самоучитель по программированию PIC-контроллеров для начинающих [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [http://ikarab.narod.ru/Kea\\_20.html](http://ikarab.narod.ru/Kea_20.html) (дата обращения 02.10.2013 г.).
3. Ловин Дж. Создаем робота — андроида своими руками.: Пер. с англ. Мельникова Г. М.: Издательский дом ДМК-пресс, 2007 — 320 с.: ил.
4. PIC16 MCU Products [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.microchip.com/ParamChartSearch/chart.aspx?branchID=1002&mid=10&lang=en&pageId=74> (дата обращения 02.10.2013 г.).

## **2.2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ**

### **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОТЛАДКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

*Волосенков Владимир Олегович*

*д-р техн. наук, профессор*

*Военной академии войсковой ПВО ВС Российской Федерации,*

*г. Смоленск*

*E-mail: [yvolosenkov@yandex.ru](mailto:yvolosenkov@yandex.ru)*

### **EVALUATION OF THE QUALITY OF SOFTWARE DEBUGGING REAL-TIME CALCULATION SYSTEMS**

*Vladimir Volosenkov*

*doctor of Technical Sciences, professor*

*of Russian Federation Armed Forces Army Air Defense Military Academy,*

*Smolensk*

#### **АННОТАЦИЯ**

Рассматривается задача отладки программного обеспечения вычислительных систем реального времени. Предлагается алгоритм оценки качества отладки программного обеспечения с использованием обобщенных показателей, конкретный состав которых определяется этапами проведения отладочных работ в ходе многоэтапного итеративного процесса.

#### **ABSTRACT**

Deals with the task of debugging software computing systems of real time. The algorithm for evaluation of the quality of software debugging using the generic indicators, specific composition of which is determined by

the stages of debugging works in the course of a multi-step iterative process.

**Ключевые слова:** вычислительная система, программное обеспечение, отладка, качество программ.

**Keywords:** computer system, software, debugging, quality programs.

Эффективность разработки программного обеспечения вычислительных систем реального времени существенно зависит от качества отладки программ. Под качеством программного обеспечения целесообразно понимать степень его соответствия основным требованиям пользователя, сформулированным в системных и программных спецификациях.

Для оценки качества отладки программного обеспечения вычислительных систем реального времени предлагается система обобщенных показателей, конкретный состав которых определяется этапами проведения отладочных работ. Группировка показателей качества в соответствии с последовательностью технологических процедур отладки обеспечивает эффективное использование методов и средств автоматизации отладки программного обеспечения.

Особенностью отладки программ вычислительных систем реального времени является необходимость выявления не только программных, но и сложных алгоритмических ошибок, в том числе ошибок, связанных с просчетами в использовании ресурсов вычислительной техники, ошибок при выполнении основных функций, ошибок сопряжений программных модулей комплекса, ошибок, приводящих к нарушению функционирования [1, с. 10]. Такие ошибки возникают при объединении отдельных программных модулей в комплексы из-за отсутствия достоверной информации о необходимых ресурсах ЭВМ, неправильного распределения функций между модулями комплекса, неправильной организации передач управления и информации между модулями.

Оценка качества программного обеспечения вычислительных систем реального времени представляет собой систему действий по проведению отладочных работ с целью обнаружения, локализации и устранения ошибок в сложном комплексе программ.

На первом этапе, на основании анализа текста программ выявляются программные ошибки, возникающие при объединении программных модулей (в том числе некоторые ошибки зацикливаний, лишние и тупиковые операторы). Наряду с анализом текста



программы и составлением плана тестирования проводится оценка сложности и избыточности программ [2, с. 137].

Сложность комплекса программ включает структурную и статистическую сложность. Структурная сложность определяет степень взаимосвязи программных модулей и может быть оценена следующим образом [3, с. 137]:

$$A = \sum_i A_i = \sum_i \sum_j (\alpha_{ex} + \alpha_{вых}),$$

где:  $\alpha_{ex}$  — управляющие связи  $i$ -го программного модуля, которые вызывают этот модуль;

$\alpha_{вых}$  — связи, посредством которых  $i$ -й программный модуль вызывает другие модули;

$A_i$  — сложность управляющих связей  $i$ -го модуля.

Структурная сложность программных модулей, как правило, определяется на основании учета количества маршрутов, исполняемых программой, и числа условных операторов

$$\bar{\mathcal{E}}_j = \sum_{i=1}^{M_j} \mathcal{E}_{ij},$$

где:  $\mathcal{E}_{ij}$  — количество условий, определяющих  $i$ -й маршрут  $j$ -го программного модуля,

$M_j$  — количество маршрутов  $j$ -го программного модуля.

Статистическая сложность программных модулей обычно определяется путем подсчета количества операторов ( $N1j$ ) и операндов ( $N2j$ )

$$N_{cj} = N_{1j} + N_{2j}.$$

Показатель избыточности представляется вектором  $\bar{u} = \{u1, u2, \{ u3j\}\}$  и характеризует наличие структурных нереализуемых элементов в комплексе программ и его программных модулях. Избыточность комплекса программ определяется количеством нереализуемых в конкретной задаче программных модулей  $u1$  и количеством неиспользуемых информационных элементов  $u2$ .

Избыточность программных модулей определяется количеством лишних операторов и тупиков  $\{u3j\}$ , где  $j$  — индекс программного модуля.

На втором этапе выявляются ошибки, связанные с просчетами в использовании ресурсов вычислительной системы по памяти (тестирование физической реализуемости). Показатель физической реализуемости включает объемы оперативной памяти, необходимые для размещения комплекса программ при различных режимах его работы  $\{Vm\}$ , корректность вызова управляющей программы совокупностей программных модулей, соответствующих различным режимам работы  $\{Pm\}$ , объемы внешней памяти по различным типам запоминающих устройств  $\{Wk\}$ .

На третьем этапе выявляются ошибки сопряжений модулей программ, ошибки при выполнении основных функций комплексом программ, которые устраняются далее на основании анализа результатов тестирования времени функционирования.

На четвертом этапе осуществляется оценка средств восстановления программного обеспечения при неблагоприятных условиях функционирования вычислительной системы и недостоверных исходных данных.

Показатель, характеризующий эффективность средств восстановления, есть вектор  $\overline{B} = \{K_r, \sigma, T_{p3}, P_{p3}\}$  компонентами которого являются:  $K_r$  — коэффициент готовности системы,  $\sigma$  — вероятность сохранения информации в системе,  $T_{p3}$  — среднее время решения задачи,  $P_{p3}$  — вероятность успешного решения задачи.

На пятом этапе проводится анализ эффективности комплекса программ, полученного в процессе системной отладки. При этом используется подход, при котором эффективность комплекса программ характеризуется суммарными затратами на его проектирование и отладку.

Показатель эффективности комплекса программ, полученного в процессе отладки, есть вектор  $\overline{\mathcal{E}} = \{C_n, C_{no}, C_{co}\}$ , компонентами которого являются:  $C_n$  — затраты на проектирование комплекса программ,  $C_{no}$  — затраты на программную отладку,  $C_{co}$  — затраты на системную отладку. Затраты на проведение отладки определяются выражением

$$C_{co} = \sum_{j=1}^J C_j + C_{no}(P_{no}),$$

где:  $C_j$  — затраты на проведение  $j$ -го этапа отладки,  
 $C_{но}$  — потери от необнаруженных ошибок,  
 $P_{но}$  — вероятность появления необнаруженной ошибки после завершения отладки.

На основании сравнения значений компонент показателей качества с требованиями спецификаций может быть оценена общая отлаженность комплекса программ:

$$K = \frac{1}{I} \sum_i \left( \sum_j \frac{P_{ij}}{n_i} \right),$$

где:  $n_i$  — количество компонент  $i$ -го показателя качества,  
 $I$  — количество рассматриваемых показателей качества,  $P_{ij} = 1$ , если  $j$ -я компонента  $i$ -го показателя качества соответствует требованиям спецификаций; 0 — в противном случае.

Таким образом, процесс выявления ошибок в программном обеспечении вычислительных систем реального времени с использованием предложенного алгоритма может быть в достаточной мере формализован, а его основные операции — автоматизированы.

### Список литературы:

1. Волосенков В.О. Способ построения средств комплексной отладки программного обеспечения специализированной ЭВМ управления транспортными средствами // Наука и техника транспорта. — 2006. — № 2. — С. 8—13.
2. Волосенков В.О., Морозов А.В. Способ построения средств комплексной отладки программного обеспечения специализированных ЭВМ, функционирующих в режиме реального времени // Вестник Оренбургского государственного университета. — 2006. — № 2. — Том 2. — С. 136—140.
3. Волосенков В.О. Методика оценки качества сложных комплексов программ вычислительных систем реального времени // Наука и техника транспорта. — 2007. — № 1. — С. 63—66.

## **2.3. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ, КОМПЛЕКСЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ**

### **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ АЛГОРИТМА «СКОЛЬЗЯЩЕГО» ОКНА ЦВЕТНЫМИ ВРЕМЕННЫМИ СЕТЯМИ ПЕТРИ**

***Коннов Николай Николаевич***

*канд. техн. наук, профессор кафедры «Вычислительная техника»  
Пензенского государственного университета,  
г. Пенза*

*E-mail: [knn@pnzgu.ru](mailto:knn@pnzgu.ru)*

***Домнин Александр Львович***

*аспирант кафедры «Вычислительная техника»  
Пензенского государственного университета,  
г. Пенза*

*E-mail: [a@pnzgu.ru](mailto:a@pnzgu.ru)*

### **DEVELOPMENT OF MODEL THE “SLIDING” WINDOW ALGORITHM USING COLORED PETRI NETS**

***Nikolai Konnov***

*candidate of engineering sciences, professor of Penza state university,  
Penza*

***Alexander Domnin***

*postgraduate of the computer engineering department, Penza state  
university, Penza*

#### **АННОТАЦИЯ**

Приводится цветная временная сеть Петри, моделирующая алгоритм «скользящего» окна для измерения скорости трафика в сетях с коммутацией пакетов.

## ABSTRACT

Provides a timed colored Petri net modeling «sliding» window algorithm for measuring the speed of traffic in packet-switched networks.

**Ключевые слова:** моделирование; трафик; скользящее окно; сети Петри.

**Keywords:** modeling; traffic; «sliding» window; Petri nets.

Измерение скорости и величины пульсации потоков данных является обязательным компонентом реализации любой политики управления трафиком, призванной обеспечить соглашение об уровне обслуживания (SLA) в компьютерных сетях с поддержкой качества обслуживания (QoS). При профилировании трафика выполняется проверка скорости и пульсации трафика на соответствие SLA и его ограничение в случае необходимости. При шейпинге трафика выполняется придание трафику характеристик, соответствующих соглашению об уровне обслуживания, по возможности — без его ограничения. Профилирование и шейпинг трафика являются механизмами обеспечения качества обслуживания (QoS) [1, 2].

Существуют следующие алгоритмы измерения скорости:

- усреднение на смежных временных интервалах, которое, однако, не позволяет оценивать скорость потоков с высокой пачечностью;
- алгоритмы «дырявого ведра» и «ведра токенов», относительно просто реализуемые и широко используемые для нужд профилирования и шейпинга, но, фактически, выполняющие не измерения текущей скорости потока, а лишь ее допусковый контроль;
- «скользящее» окно, позволяющее наиболее точно измерить текущее значение скорости потока, но для реализации требующее много вычислительных ресурсов.

Выбор наиболее эффективных методов управления качеством обслуживания в корпоративной сети, разработка новых механизмов QoS представляют собой сложную задачу, которая может быть решена средствами предварительного имитационного моделирования. Эффективным средством моделирования телекоммуникационных сетей, не привязанным к конкретному оборудованию, а основанным на математических моделях, является аппарат цветных иерархических временных сетей Петри [3—5]. В настоящей статье предлагается сеть Петри, моделирующая алгоритм «скользящего» окна, т. к. сети, моделирующие другие алгоритмы, рассмотрены в [6, 7].

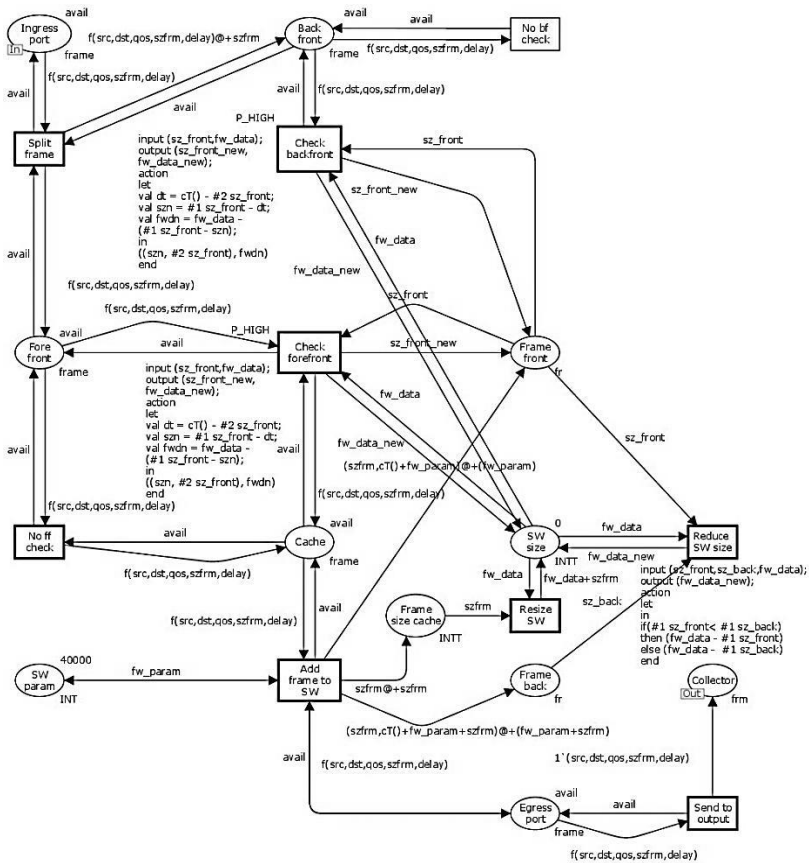
В классическом алгоритме «скользящего» окна требуется пересчет текущей суммы в каждый момент времени. Но для нужд измерения скорости трафика с целью его последующего профилирования и шейпинга не требуется постоянно производить вычисления. Они необходимы только в момент появления и получения очередного фрейма. Используем этот факт при разработке модели, что позволит значительно сократить объем вычислений при моделировании.

Модель алгоритма «скользящего» окна представлена цветными временными сетями Петри (рисунок 1). Разработка модели проводилась в системе CPN Tools, которая позволяет моделировать различные аспекты поведения сложных телекоммуникационных систем, благодаря своему функционалу и широкому набору инструментов.

Чтобы не возникало путаницы в терминах, определим, что длительность «скользящего» окна — это период времени в битовых интервалах, за который идет подсчет размеров попавших в этот период фреймов. В модели этот параметр является заданным изначально и не изменяется во времени. Размер «скользящего» окна — сумма размеров попавших в длительность этого окна фреймов на конкретный момент времени.

Поток фреймов моделируется маркерами, цвет которых соответствуют формату фрейма, описанному стандарте IEEE 802.1Q. Так как сеть временная, за каждым маркером закреплена метка времени, используемая в процессе моделирования, которая содержит время появления этого маркера в модели. Единица модельного времени равна одному битовому интервалу. В данном случае время связано с размером фреймов, которое задано в битах, а также — размером «скользящего» окна, указанное в битовых интервалах и др. Если возникнет необходимость вложить другой смысл в единицу модельного времени (байтовый интервал, миллисекунда, секунда), то следует пропорционально изменить связанные со временем количественные параметры модели.

Краткое описание реализации алгоритма следующее: сохраняем в определенных позициях информацию о фреймах, попадающих в «скользящее» окно. С течением времени информация в этих позициях изменяется — информация о предыдущих фреймах, уже не попадающих в длительность окна, удаляется, а информация о вновь поступивших — добавляется.



**Рисунок 1. Сеть Петри, моделирующая алгоритм скользящего окна**

Очередной маркер, моделирующий фрейм Ethernet, переходит в позицию *Ingress Port*. Затем происходит срабатывание перехода *Split frame*. В позицию *Fore front* переходит маркер, содержащий оригинальную информацию о фрейме, который будет использоваться для вычисления размера «скользящего» окна на момент появления фрейма (фрейм не будет учитываться в размере окна). А в позицию *Back front* — маркер с меткой времени, увеличенной на размер фрейма. Это необходимо для вычисления размера «скользящего» окна на момент получения фрейма (фрейм будет учитываться в размере окна). После этого для маркера в *Back front* происходит срабатывание перехода *No bf check* или *Check back front*, а для маркера в *Fore front* —

срабатывает либо переход *No ff check*, либо *Check forefront*. Переходы *Check backfront* и *Check forefront* нужны для обработки случаев, когда при появлении очередного фрейма (*Check forefront*) или получении его (*Check backfront*) задний фронт «скользящего» окна попадает в период времени, в который происходил прием уже поступившего фрейма. В таких ситуациях размер «скользящего» окна на текущий момент должен быть дополнительно скорректирован.

Срабатывание переходов *No bf check* или *Check backfront* приводит к удалению маркера из позиции *Back Front*, а при срабатывании *No ff check* либо *Check forefront* маркер переходит в промежуточную позицию *Cache*. Далее, происходит срабатывание перехода *Add Frame to SW*, реализующего сохранение информации о фрейме в «скользящем» окне. С этим переходом связаны позиция *SW param*, хранящей длительность «скользящего» окна, позиция *Frame front*, в которой хранится информация о времени появления фрейма и его размере, позиция *Frame back*, в которой хранится информация времени получения фрейма и его размере, позиции *Frame size cache*, используемой для отложенного на определенный промежуток времени изменения значения в позиции *SW size*, которая хранит размер «скользящего» окна на какой-то предыдущий момент времени. Так как размер окна увеличивается на размер появившегося фрейма только после приема этого фрейма, следовательно, необходимо смоделировать изменение значения в позиции *SW size* через период времени равный размеру фрейма. Это как раз реализуется позицией *Frame size cache* и переходом *Resize SW*.

Переход *Reduce SW size*, связанный с позициями *SW size*, *Frame front* и *Frame back* реализует удаление информации из этих позиций о фреймах, уже не попадающих в длительность «скользящего» окна.

Точный размер «скользящего» окна вычисляется в моменты времени поступления и получения очередного фрейма, так как основные вычисления размера приходятся именно на эти события. Размер окна не пересчитывается каждую единицу модельного времени.

Тестирование модели на равномерном (фреймы одинакового размера поступают через равные промежутки времени) и стохастическом (фреймы разного размера поступают через произвольные промежутки времени) видах трафика позволяют сделать вывод о корректности ее функционирования.



### **Список литературы:**

1. Вегешна Ш. Качество обслуживания в сетях IP. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003.
2. Домнин А.Л., Кизилов Е.А., Пушкарев В.А. Моделирование механизмов qos в коммутаторах Ethernet цветными сетями Петри // Сборник статей Участников Всероссийского конкурса научных работ студентов и аспирантов «Телематика '2010: телекоммуникации, веб-технологии, суперкомпьютин» СПб: СПбГУ ИТМО, 2010.
3. Кучерявый Е.А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет СПб.: Наука и техника, 2004.
4. Механов В.Б. Применение сетей Петри для моделирования механизмов обеспечения QoS в компьютерных сетях // Материалы международ. симпозиума “Новые информационные технологии и менеджмент качества (NIT&MQ’2010)” ФГУ ГНИИ ИТТ “Информика” М.: ЭГРИ, 2010.
5. Механов В.Б., Домнин А.Л. Моделирование алгоритмов управления полосой пропускания цветными сетями Петри // Труды IX Международ. научно-технической конференции “Новые информационные технологии и системы”: в 2 ч. Пенза: Изд-во ПГУ, 2010
6. Jensen K., Kristensen L. Coloured Petri Nets: modelling and validation of concurrent systems. Springer-Verlag, 2009.
7. Zaitsev D.A. Switched LAN simulation by colored Petri nets // Mathematics and Computers in Simulation, — vol. 65, — № 3, — 2004.

**2.4. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ,  
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ  
И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ**

**МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ГРАДИЕНТНОГО ВОЛОКОННОГО СВЕТОВОДА  
МНОГОСЛОЙНЫМ**

***Андросик Андрей Борисович***

*канд. техн. наук, доцент МГОУ,  
г. Москва*

***Воробьев Сергей Андреевич***

*канд. техн. наук, профессор МГОУ,  
г. Москва*

***Мировицкая Светлана Дмитриевна***

*канд. техн. наук, доцент МГОУ,  
г. Москва*

*E-mail: [scotchwood@yandex.ru](mailto:scotchwood@yandex.ru)*

**METHOD OF MODELLING  
OF GRADIENT OPTICAL FIBER BY MULTI FIBERS**

***Andrey Androsik***

*candidate of Technical Sciences, Associate Professor of MSOU,  
Moscow*

***Sergei Vorobev***

*candidate of Technical Sciences, Professor of MSOU,  
Moscow*

***Svetlana Mirovitskaya***

*candidate of Technical Sciences, Associate Professor of MSOU,  
Moscow*

## АННОТАЦИЯ

Рассмотрены особенности моделирования волоконных световодов с градиентным распределением показателя преломления многослойными с постоянной величиной показателя преломления внутри слоя.

## ABSTRACT

Considered are the peculiarities of simulation of optical fibers with a gradient distribution of the refractive index layer and multi-layer with constant refractive index within the layer.

**Ключевые слова:** рефракция, моделирование, волоконный световод, градиентный профиль показателя преломления.

**Keywords:** refraction, modeling, fiber light guide, gradient profile of the refractive index.

Работа посвящена вопросу исследования одного из наиболее практически удобных методов измерения геометрических характеристик волоконных световодов (ВС) — рефракционному и установлению основных закономерностей прохождения узкого зондирующего пучка через ВС различных типов [1, с. 96, 2, с. 51, 3, с. 38].

Результаты исследования методов контроля геометрических параметров световодов показывают, что нахождение профиля показателя преломления ВС путем вычисления интеграла представляет собой сложную и занимающую много машинного времени проблему. Поэтому ниже рассмотрена возможность замены градиентного профиля на многослойный с показателем преломления, не изменяющимся по слою и скачком переходящим на другое значение на следующем слое. При решении задачи математического моделирования в процессе замены градиентного ВС многослойным необходимо рассмотреть два основных направления:

- установление критерия достоверности, а именно, по заданному распределению показателя преломления, исходя из требуемой точности, выбирается максимально допустимый скачок  $\Delta n$  и из выбранного  $\Delta n$  определяется количество  $N$  слоев разбиения градиентного ВС на слоистый;
- выбор оптимального способа разбиения.

Таким образом, осуществляется переход от аналогового закона (плавное изменение  $n(r)$ ) к дискретному — цифровому (скачкообразно-ступенчатое изменение), т. е. решается типовая задача вычислительной техники — построение аналого-цифрового преобразователя. Кроме того, возникает необходимость установления степени идентичности планиметрической задачи — ступенчатого разбиения и объемной —

рассеяния, т. е. введение переходных критериев, а также рассмотрение вероятных на практике типов градиентных ВС: монотонных с экстремумами (перегибами), периодических и др. В заключении, необходимо выбрать тип разбиения распределения показателя преломления:

- с равным шагом по оси радиусов  $\Delta r_j = \Delta r_j + 1$ ; это дает

$$\Delta n_j \neq \Delta n_j + 1;$$

- с равным шагом по оси показателей преломления  $\Delta n_j = \Delta n_{j+1}$ , при  $\Delta r_j \neq \Delta r_j + 1$ .

При разбиение на равные отрезки по оси радиусов возникает два случая измерения показателя преломления — в центре отрезка и в конце отрезка. При анализе проводится моделирование ВС с градиентным показателем преломления, который определяется по формуле:

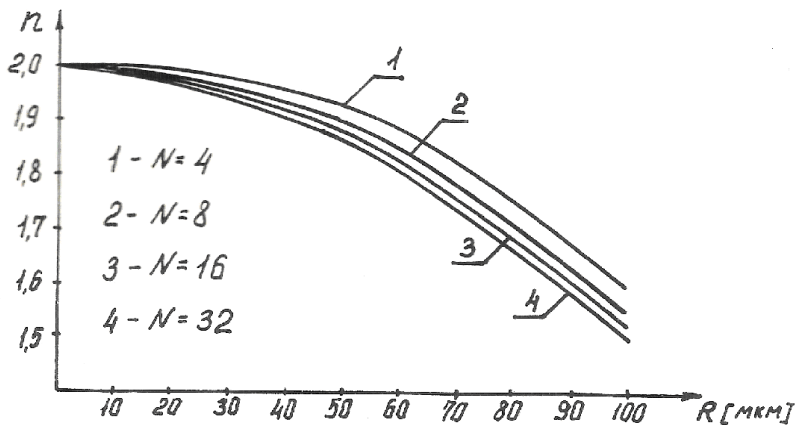
$$n(r) = n^* - (n^* - n(r_1)) (r/r_1)$$

где:  $n^*$  — значение показателя преломления в центре ВС,

$n(r_1)$  — его значение на границе неоднородной сердцевины.

График зависимости  $n = f(r)$  при разбиении по сердцевине отрезка радиусов показан на рис. 1, а по концу — на рис. 2, а, б при разном числе  $N$  слоев разбиения.

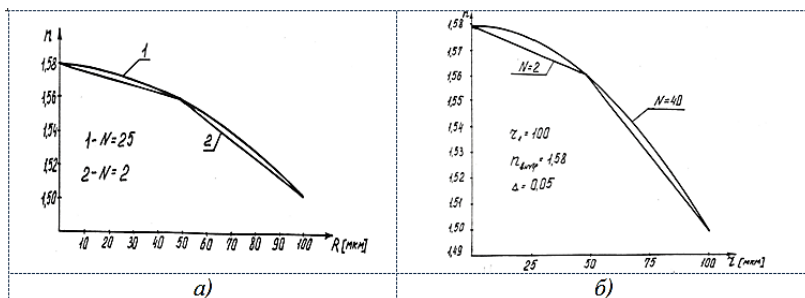
Итак, сечение круглой формы разбивается на концентрические окружности с радиусами  $r_1, r_2, r_3 \dots$  и проводится измерение показателей преломления  $n_1, n_2, n_3 \dots$  на концах соответствующих радиусов. Затем осуществляется повторное измерение  $n_1, n_2, n_3 \dots$ , но уже в точках  $r_1/2, r_1 + (r_2 - r_1)/2, r_2 + (r_3 - r_2)/2 \dots$ . Полученные результаты запоминаются, причем  $n_i = f(r_i)$  и  $n(r_{i-1} + (r_i - r_{i-1})/2) = f(r_i)$ , где  $i=1, 2, 3 \dots, k$ , а  $k$  — число концентрических окружностей. Величина  $k$  зависит от точности аппроксимации выражения  $n(r)$ . С увеличением точности  $k$  возрастает. Поскольку точность аппроксимации выражения  $n(r) \sim 10^{-4}$ , а требуемая величина  $k$  заранее не может быть предсказана, то измерения проводятся с запасом, т.е.  $k \approx 50$ .



**Рисунок 1. График зависимости  $n(r)$  при разбиении по середине отрезка радиусов**

Для решения поставленной задачи необходимо решить два вопроса:

- что представляет собой аппроксимирующая линия;
- как оценить достаточно точно совпадение аппроксимирующей линии с кривой  $n(r)$ .



**Рисунок 2. Графики зависимости  $n(r)$  при разбиении по концу отрезка**

Из выражения  $n(r)$  получают две совокупности  $\hat{n}_i - x$ ,  $\hat{n}_i$ , соответствующие значениям радиусов:  $r_1, r_2, r_3$  и  $r_4$  и  $\hat{n}_i$ , соответствующие радиусам:  $r_1/2, r_1 + (r_2 - r_1)/2, r_2 + (r_3 - r_2)/2$ .

Исследования показывают, что расчетные значения показателей преломления  $\hat{n}_i$  ближе всего располагаются к экспериментальным

значениям  $n_i$  в точках  $r_1, r_2, r_3, r_4$  для первого типа деления и для второго в точках:

$$r_1/2, r_1 + (r_2 - r_1)/2, r_2 + (r_3 - r_2)/2, r_3 + (r_4 - r_3)/2.$$

Однако эти значения показателей никогда не совпадают между собой и, следовательно, можно считать, что  $\hat{n}_i - n_i \neq 0$  для всех  $r_i$  и при любом  $k$ .

Говорить об аппроксимации кривой  $n(r)$  ломаной линией можно, если параметры, характеризующие точность аппроксимации, поддаются количественной оценке и дают надежные результаты для всего диапазона изменения  $k$ . В качестве такого параметра можно взять разность между расчетными и экспериментальными значениями показателей преломления, т. е. разность вида  $\hat{n}_i - n_i$ .

Разность  $\hat{n}_i - n_i$ , вычисленная для одинаковых значений  $r_i$ , оценивает погрешность измерения, величина ее не зависит от параметра  $k$ . Поэтому, в таком виде она не может быть использована для оценки точности аппроксимации.

Внутри каждого участка аппроксимации величина показателя преломления остается постоянной. Так, например, на участке  $r_1$  коэффициент преломления равен  $n_1$ , на участке  $(r_2 - r_1) - n_2$  и т. д. В то же время величина  $\hat{n}_i$  внутри каждого интервала убывает в зависимости от возрастания  $g$ . Таким образом, разность  $\hat{n}_i - n_i$  достигает своего максимального значения на левой границе каждого интервала. Сама величина разности  $\hat{n}_i - n_i$  не представляет особого интереса, если содержательная часть этой разности не изменяется внутри каждого интервала при движении от  $r_i$  к  $r_{i-1}$ . Как было указано выше, значение  $\hat{n}_i - n_i$ , выровненное на правой границе интервала, характеризует точность измерительной установки, либо точность математической зависимости  $n(r)$ . Кроме того,  $\hat{n}_i - n_i$ , выровненное на левой границе интервала, характеризует погрешность аппроксимации ломаной линией зависимости  $n(r)$  и величина этой разности зависит от  $k$ .

В случае монотонной функциональной зависимости  $n(r)$  разность  $\hat{n}_i - n_i$  для каждого интервала имеет одинаковый знак, что дает возможность в одинаковых условиях исследовать погрешность как для каждого интервала в отдельности, так и суммарное значение по всем интервалам. Однако, если монотонность функции будет соблюдаться во всех интервалах, то суммарная погрешность не даст правильной оценки аппроксимирующих свойств ломаной линии.

Во всех рассматриваемых ниже примерах предлагается единый алгоритм исследования зависимостей показателей преломления от изменения радиуса.

На первом этапе определяется возможное количество слоев разбиения  $\kappa$ . Величина  $\kappa$  зависит от значения показателей преломления  $n^*$  и  $n_1$ ;  $n^*$  — величина показателя преломления при  $r = 0$ , а  $n_1$  — при  $r = 100$ , т. е. в центре и на границе образца световода. Поскольку любая из рассматриваемых функций монотонна на отрезке  $[0,100]$ , то можно записать очевидное соотношение:

$$|n^* - n_1| = \sum_{i=1}^{\kappa} \Delta n_i$$

где:  $K$  — число разбиения интервала  $|n^* - n_1|$ ,

$\Delta n_i$  — приращение показателя преломления на  $i$ -ом участке разбиения. Величина  $\Delta n_i$  выбирается, исходя из требуемого приближения, т. е. если в  $i$ -ом слое разбиения, находящемся на  $r_i$  расстоянии от центра образца ( $r = 0$ ) показатель преломления равен  $n_i$ , то ширину слоя надо выбрать так, чтобы для любого  $r$  в интервале  $r_i \leq r < r_{i+1}$  величина  $n_i$  менялась на величину  $\Delta n_i$ , определяемую заданной точностью  $E$ . Математически это условие можно записать как

$$\Delta n_i \leq E \quad (1)$$

для всех  $i=1,2,3,\dots, \kappa$ . Поскольку между  $n$  и  $r$  имеется функциональная связь  $n = f(r)$  и эта функция непрерывна и монотонна, можно величины  $\Delta n_i$ , удовлетворяющие неравенству (1) подобрать так, что для всех  $i$  будет обеспечено

$$\Delta n_1 = \Delta n_2 = \dots = \Delta n_{\kappa} = \Delta n.$$

Тогда

$$\kappa = |n^* - n_1|/E$$

откуда видно что, зная граничные значения показателей преломления и точность  $E$ , независимо от вида функции  $n=f(r)$ , всегда можно оценить количество слоев разбиения  $\kappa$ . После определения  $\kappa$  необходимо рассмотреть зависимость  $n=f(r)$ , откуда вычисляются

радиусы  $r_1$  и показатели преломления  $n_i$ , соответствующие всем  $k$  слоям разбиения.

Ниже приводятся примеры вычисления  $r_1$  и  $n_i$  для шести функций  $n = f(r)$  конкретно вида.

1. Функция

$$n(r) = n^*(1 - 2\Delta(r/B)^m)^{1/2} \quad (2)$$

Показатель преломления в  $i$  точке

$$n_i = n^*(1 - 2\Delta(r_i/B)^m)^{1/2}$$

При переходе  $i$ -того слоя к  $i+1$  показатель преломления получает приращение

$$n_{i+1} = n_i + \Delta n_i$$

а радиус  $i+1$  слоя вычисляется по формуле:

$$r_{i+1} = B \sqrt{\frac{1}{2\Delta} \left( 1 - \sqrt{(1 - 2\Delta(r_i/B)^m + \frac{\Delta n_i}{n^*})^2} \right)} \quad (3)$$

Учитывая, что функция (2) убывает с возрастанием  $r$  и область изменения показателя преломления  $[n^*, n_1]$  разбивается на одинаковые интервалы  $\Delta n$  и то, что для каждого  $\Delta n_i$  должно выполняться неравенство (1), формула (3) преобразуется к виду

$$r_{i+1} = B \sqrt{\left( \frac{r_i}{B} \right)^m + \frac{E}{n^* \Delta} \sqrt{(1 - 2\Delta(r_i/B)^m)} - \frac{E^2}{2n^* \Delta}}$$

2. Функция

$$n(r) = n^* - (n^* - n_1)(r/B)^2. \quad (4)$$

Радиус  $i+1$  выражается формулой

$$r_{i+1} = \sqrt{r_i^2 - \frac{\Delta n_i B^2}{n^* - n_1}} \quad (5)$$



Учитывая, что для выражения (4)  $\Delta n_i < 0$ , а также  $\Delta n \leq E$  формула (5) преобразуется к окончательному виду:

$$r_{i+1} = \sqrt{r_i^2 + \frac{EB^2}{n^* - n_1}}$$

3. Функция:

$$n(r) = n^* \left( 1 - \frac{1}{2} Ar^2 \right)$$

Радиус  $i+1$  слоя для этого профиля показателя преломления:

$$r_{i+1} = \sqrt{\frac{rE}{n^*A} + r_i^2}.$$

4. Для функции:

$$n(r) = n^* \left( 1 - (n^* - n_1) \left( \frac{r}{B} \right)^2 / n^* \right)$$

радиус  $i+1$  слоя записывается как

$$r_{i+1} = \sqrt{\frac{B^2 E}{n^* - n_1} + r_i^2}.$$

5. Для распределения показателя преломления

$$n(r) = n^* \left( 1 - \left( 1 - 2\Delta \left( \frac{r}{B} \right)^\lambda \right) \right)$$

радиус слоя имеет вид

$$r_{i+1} = \sqrt{\frac{B^\lambda E}{2\Delta n^*} + r_i^\lambda}$$

6. Для функции

$$n(r) = n_2^2 + A(B - r)^2 \quad (6)$$

получается

$$r_{i+1} = B - \sqrt{(B - r_i)^2 + \frac{\Delta n_i}{A}}. \quad (7)$$

Учитывая непрерывность функции (6) на отрезке  $[0, B]$ , всегда можно подобрать такие значения  $i = 0, 1, 2, 3, \dots, k - 1$ , при которых:

$$\Delta n_0 = \Delta n_1 = \Delta n_{k-1}$$

Геометрически это означает равномерное разбиение интервала изменения показателя преломления  $[n_1, n^*]$  на равные участки  $k$ . Каждый  $i$  участок представляет собой концентрическое кольцо с внутренним радиусом  $r_i$ , внешним радиусом  $r_{i+1}$  и шириной  $\Delta r_i = r_{i+1} - r_i$ . В каждой точке интервала  $\Delta r_i$  показатель преломления остается постоянным и равным  $n_i$  с точностью менее  $E$ . Учитывая характер изменения зависимости (6), получается:

$$\Delta n_i = n_{i+1} - n_i < 0$$

т. е. второе слагаемое по корням в формуле (7) отрицательно. Если подставить в (7) значение  $E$  вместо  $\Delta n_i$ , можно получить окончательный вид расчетной формулы:

$$r_{i+1} = B - \sqrt{(B - r_i)^2 + \frac{E}{A}}$$

Для практической реализации описанных алгоритмов следует учесть чувствительность  $H$  шагового двигателя, величина которого не может быть менее 2 мкм. Каждый раз при определении двух смежных радиусов  $r_i$  и  $r_{i+1}$  находится ширина слоя разбиения DLR, величина которой делится на  $H$  нацело:

$$DL = \text{INT}(DLR/H).$$

Если  $DL > 0$ , то радиус очередного слоя подсчитывается как

$$RM = \sum_{i=1}^{DL} H_i$$

Если  $DL < 0$ , то берется более грубая точность  $EPS = E \cdot 2$ . Точность огрубляется до тех пор, пока вновь не получается неравенство  $DL > 0$ , затем процедура поиска радиуса очередного слоя продолжается. Этот процесс заканчивается, когда  $RM$  достигает наружного радиуса.

Модельные исследования показали следующее.

*Функция 1.* Для  $n=1.467$ ,  $v=100$  мкм,  $\Delta=0,001$ ,  $m=2-2\Delta$ ,  $H=2$  мкм результаты расчетов позволяют выявить, что точность  $E=10^{-4}$  достигается при всех значениях радиуса вплоть до  $RM = 100$  мкм.

*Функция 2.* Для  $n^*=1.457$ ,  $v=100$  мкм,  $H=2$  мкм результаты расчетов показали, что точность  $E=10^{-4}$  выдерживается при сканировании с шагом 2 мкм до  $RM = 62$  мкм, в дальнейшем до  $RM = 100$  мкм точность не превышает  $E=2 \cdot 10^{-4}$ . При возможности сканирования с переменным шагом до  $RM = 32$  мкм возможно прохождение участка за 5 шагов, а на оставшиеся 68 мкм необходимо затратить 34 шага.

*Функция 3* вычислялась при  $A = 4 \cdot 10^{-7}$ ,  $n^*=1, 5$ ,  $v=100$  мкм,  $H=2$  мкм; результаты моделирования показали, что точность  $E=10^{-4}$  придерживается при сканировании до  $RM = 86$  мкм. Остальные участки могут быть пройдены с точностью  $E=2 \cdot 10^{-4}$ . При переменном шаге сканирования расстояние до  $RM = 42$  мкм может быть пройдено за 6 шагов, а оставшиеся 58 мкм — за 29 шагов. С ростом  $n^*$  точность моделирования градиентного ВС многослойным падает.

*Функция 4* вычислялась при  $n^*=1, 457$ ,  $n_1=1,460$ ,  $v=100$  мкм,  $H=2$  мкм. В этом случае точность  $E=10^{-4}$  выдерживается до  $RM = 86$  мкм, а для остальных слоев она ухудшается до  $2 \cdot 10^{-4}$ . При сканировании с переменным шагом слои  $RM = 42$  мкм могут быть пройдены за 6 шагов, а остальные 58 мкм — за 29 шагов.

Итак, выше рассмотрена возможность моделирования градиентных световодов различных типов многослойными и определены основные критерии точности такой замены.

### **Список литературы:**

1. Андросик А.Б., Воробьев С.А., Мировицкая С.Д. Рефракционный метод исследования волоконных световодов. Lambert Academic Publishing 2012 — 296 с.
2. Воробьев С.А., Андросик А.Б., Мировицкая С.Д. Вычислительная фотоника. Основы, задачи, методы анализа. Lambert Academic Publishing 2012 — 183 с.
3. Лазарев Л.П., Мировицкая С.Д. Контроль геометрических и оптических параметров волокон. М.: Радио и связь, 1988. — 280 с.

## **ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛИ ЛЕОНТЬЕВА В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

***Воропанов Сергей Алексеевич***

*канд. экон. наук, доцент кафедры «Учет и финансы»,  
Самарский государственный экономический университет  
(филиал в г. Тольятти),  
г. Тольятти  
E-mail: [svoropanov@mail.ru](mailto:svoropanov@mail.ru)*

## **ESTIMATION OF SOME CHARACTERISTICS OF THE LEONTIEF MODELS: CONDITIONS OF INCOMPLETE INFORMATION**

***Voropanov Sergey Alekseevich***

*candidate of economic Sciences, associate Professor  
of the Department «Accounting and Finance»,  
Samara State University of Economics, (Togliatti branch),  
Togliatti*

### **АННОТАЦИЯ**

В работе по некоторым заданным показателям технологической матрицы (вся матрица Леонтьева не доступна) оценены значения мультипликаторов для модели межотраслевого баланса (в западной терминологии симметричная таблица «затраты-выпуск»).

Предложенный метод, основанный на теории положительных операторов (операторов в пространствах с конусом), позволил получить новым способом не только ранее полученные результаты, но и улучшить их.

### ABSTRACT

In the work of some selected indicators technological matrix (all Leontief matrix is not available) estimated values of the multipliers of final demand for input-output models (in the Western terminology symmetrical table of input-output).

The proposed method based on the theory of positive operators (operators in spaces with cones) provided a new way of not only the earlier findings, but also to improve them.

**Ключевые слова:** мультипликаторы, модель «затраты-выпуск».

**Keywords:** multipliers, the model of «input-output».

Рассмотрим уравнение межотраслевого баланса  $x = Ax + f$ , где  $x$  —  $n$ -мерный вектор валовых выпусков,  $f$  —  $n$ -мерный вектор конечного спроса,  $A = (a_{ij})$ ,  $i, j = 1, \dots, n$  — технологическая матрица (матрица прямых материальных затрат),  $n$  — количество выделенных в балансе отраслей.

Матрица полных материальных затрат  $Q = (q_{ij})$  (в западной терминологии обратная Леонтьевская матрица) рассчитывается по известной формуле

$Q = (I - A)^{-1}$ , где  $I$  — единичная матрица.

Одной из важных синтетических характеристик межотраслевых связей является вектор  $\mu = (\mu_1, \dots, \mu_n)$  мультипликаторов  $\mu_j = \sum_{i=1}^n q_{ij}$ ,  $j=1, \dots, n$ . В случае, когда матрица  $A$  известна, проблем с расчетом мультипликаторов, естественно, не возникает.

Другое дело, когда для данной территории отчетный межотраслевой баланс не разрабатывался или разрабатывался достаточно давно. И если на уровне национальной экономики отчетные межотраслевые балансы с той или иной периодичностью разрабатываются, то на региональном уровне это инициатива отдельных энтузиастов, к тому же достаточно дорогостоящая инициатива.

Возникает проблема, как оценить мультипликаторы в условиях неполной информации, когда исследователю известны лишь некоторые характеристики матрицы  $A$ . К таким характеристикам, в частности, можно отнести значения отдельных коэффициентов прямых материальных затрат, а также вектор коэффициентов материалоемкости  $w_j = \sum_{i=1}^n a_{ij}$ ,  $j=1, \dots, n$ . Материалоемкость

отраслей может быть оценена на основе данных традиционной статистики без проведения дорогостоящих сплошных или выборочных обследований.

Сформулируем задачу: по некоторым заданным показателям матрицы А оценить значения мультипликаторов. Такого рода задача возникает, как правило, на уровне региональных экономик, в случае, когда недостаток сил и средств не позволяет построить полную межотраслевую таблицу.

По-видимому, первые попытки оценить мультипликатор в условиях неполной информации были предприняты авторами [2, с. 5—9]. В этих же публикациях развернулась дискуссия по теоретической и экспериментальной оценке эффективности предложенных методов.

В частности, в [2] получено соотношение

$$1+w_j / (1 - \min_j w_j) \leq \mu_j \leq 1+w_j / (1 - \max_j w_j), j=1, \dots, n, \quad (1)$$

и в качестве оценки  $\mu_j$  рекомендуется использовать формулу

$$\mu_j \approx 1+w_j / (1 - \bar{w}), j=1, \dots, n, \quad (2)$$

где  $\bar{w} = n^{-1} \sum_{i=1}^n w_j$ , т. е. средняя арифметическая из отраслевых материалоемкостей.

В [7] оценка (2) улучшена для  $j$ -й компоненты вектора  $\mu_j$  исходя из предположения, что кроме вектора  $w_j$  известен еще и столбец  $j$  (и только он один) матрицы А. Такой подход, очевидно, приемлем для отраслей с относительно простой структурой материальных затрат или для отраслей, структура материальных затрат которых может быть оценена, исходя из данных традиционной статистической отчетности.

Формула (3) в целях компактности записи приведена в несколько отличном от оригинала виде

$$\mu_j \approx 1+(w_j + P_j / S_j) / (1-a_{jj} - P_j S_j / n), j=1, \dots, n, \quad (3)$$

где  $P_j = \sum_{i=1, i \neq j}^n a_{ij} w_j$ ,  $S_j = 1 - \sum_{i=1, i \neq j}^n w_j / n$

В [4] получена оценка мультипликаторов в предположении, что кроме вектора материалоемкости известны все диагональные коэффициенты  $a_{jj}$  матрицы А. Полученная формула весьма неточна (см. [5] и пригодна лишь для небольших регионов с малым количеством выделенных в межотраслевом балансе отраслей (см. [8, 9]).

Более точные оценки в тех же предположениях, что и [9] (т. е. известны вектор материалоемкости и все диагональные коэффициенты  $a_{jj}$  матрицы  $A$ ) даны в [5].

Мы не приводим оценки, предложенные в [5, 9] ввиду, во-первых, их громоздкости и, во-вторых, отсутствия необходимости в дальнейшем их использовании в настоящей работе.

При доказательствах в [2] использовано предположение о равномерности распределения технологических коэффициентов в каждом столбце матрицы  $A$ . На самом деле, о структуре затрат известно больше — по крайней мере часть коэффициентов прямых материальных затрат  $a_{rj0}$  равна нулю.

В [3] предложено для оценки распределения элементов матрицы  $A$  применять межотраслевые таблицы-аналоги, в качестве которых могут фигурировать балансы данного региона за предшествующие годы, таблицы других регионов со схожей структурой экономики или страны в целом. Эмпирические расчеты, проведенные на материалах межотраслевого баланса Шотландии (аналогом служил межотраслевой баланс Великобритании), дали более точные в сравнении с формулой (2) результаты.

Недавний весьма обширный обзор работ [4], выполненных в этой области, показывает, что с 80х годов существенных теоретических результатов, улучшающих ранее полученные оценки мультипликаторов не получено. Исследователи, как правило, занимались эмпирическими расчетами.

Приведем необходимые для дальнейших доказательств теоремы.

Пусть в  $R^n$  задано уравнение

$$z = zA + d, \quad (4)$$

где  $z, d \in R^n$ ,  $a_{ij} \geq 0$ ,  $w_j = \sum_{i=1}^n a_{ij}$ ,  $0 < w_j < 1$ ,  $i, j = 1, \dots, n$ .

Для  $x, y \in R^n$  будем писать  $x \geq y$ , если  $x_i \geq y_i$  для всех  $i = 1, \dots, n$ .

Пусть найдутся векторы  $u^0$  и  $v^0$  такие, что выполняются соотношения

$$u^0 \leq u^0 A + d, \quad (5)$$

$$v^0 \geq v^0 A + d \quad (6)$$

Организуем далее два итерационных процесса по формулам

$$u^{n+1} = u^n A + d, \quad (7)$$

$$v^{n+1} = v^n A + d. \quad (8)$$

Имеют место следующие теоремы. Заметим, что теоремы 1 и 2 приведены в измененной формулировке для частного случая, когда (4) задано в  $R^n$ .

**Теорема 1.** *Последовательные приближения (7), (8) монотонно, соответственно, по недостатку и по избытку, сходятся к  $z^*$  — решению уравнения (4) [1].*

$$u^0 \leq u^1 \leq u^2 \leq \dots \leq z^* \leq \dots \leq v^2 \leq v^1 \leq v^0.$$

**Теорема 2.** *Элементы*

$$u^0 = e \min_j \frac{d_j}{1-w_j}, v^0 = e \max_j \frac{d_j}{1-w_j},$$

Где  $e = (1, \dots, 1)$  — единичный вектор, удовлетворяют соотношениям (5) и (6) [1].

Таким образом, используя теоремы 1 и 2, можно получать двухсторонние оценки решения уравнения (4). Причем на первых итерациях не требуется знание всех элементов матрицы  $A$ .

Легко показать, что вектор  $\mu$  мультипликаторов удовлетворяет уравнению  $\mu = \mu A + e$ .

Используя теорему 2, построим начальные приближения

$$u^0 = e \max_j \frac{1}{1-w_j} = e [1 / (1 - \min_j w_j)],$$

$$v^0 = e \max_j \frac{1}{1-w_j} = e [1 / (1 - \max_j w_j)].$$

Далее по (7) и (8) построим первые итерации

$$u_j^1 = 1 + w_j / (1 - \min_j w_j), j=1, \dots, n,$$

$$v_j^1 = 1 + w_j / (1 - \max_j w_j), j=1, \dots, n.$$

В силу теоремы 1 верны оценки

$$1 + w_j / (1 - \min_j w_j) \leq \mu_j \leq 1 + w_j / (1 - \max_j w_j), j=1, \dots, n, \quad (9)$$

что совпадает с результатом [2]. Таким образом, другим способом доказан ранее полученный результат.



Проведем следующую итерацию, и в соответствии с (7) и (8) построим элементы

$$\begin{aligned} u_j^2 &= 1 + w_j + \sum_{i=1}^n a_{ij} w_i / (1 - \min_j w_j), \quad j=1, \dots, n. \\ v_j^2 &= 1 + w_j + \sum_{i=1}^n a_{ij} w_i / (1 - \max_j w_j), \quad j=1, \dots, n. \end{aligned}$$

Согласно теореме 1 для всех  $j=1, \dots, n$  верны соотношения

$$1 + w_j + \sum_{i=1}^n a_{ij} w_i / (1 - \min_j w_j) \leq \mu_j \leq 1 + w_j + \sum_{i=1}^n a_{ij} w_i / (1 - \max_j w_j), \quad (10)$$

и точечная оценка  $\mu_j$  может быть рассчитана следующим образом

$$\mu_j \approx 1 + w_j + \sum_{i=1}^n a_{ij} w_i / (1 - \bar{w}), \quad j=1, \dots, n, \quad (11)$$

где  $\bar{w} = n^{-1} \sum_{i=1}^n w_j$ , т. е. средняя арифметическая из отраслевых материалоемкостей.

Очевидно, что использование оценок (10) и (11) возможно лишь в случае, когда известен хотя бы один столбец  $j$  матрицы  $A$ .

Попробуем теперь получить точечную оценку  $\mu_j$ , применив следующую геометрическую идею. Ясно, что (9) и (10) задают отрезки, которым принадлежат истинные значения  $\mu_j$

$$\bar{\mu}_j \leq \mu_j \leq \bar{\bar{\mu}}_j, \quad j=1, \dots, n. \quad (12)$$

где  $\bar{\mu}_j$  ( $\bar{\bar{\mu}}_j$ ) – нижняя (верхняя) оценка  $\mu_j$ . Соотношение (12) наталкивает на мысль оценивать  $\mu_j$  в виде

$$\mu_j \approx \beta_j \bar{\mu}_j + (1 - \beta_j) \bar{\bar{\mu}}_j, \quad j=1, \dots, n, \quad (13)$$

где  $0 \leq \beta_j \leq 1$ ; при  $\beta_j = 0$  ( $\beta_j = 1$ ) имеем крайние точки отрезка.

Для определения коэффициентов при  $\beta_j$  может быть использована межотраслевая таблица-аналог. Итак, алгоритм уточнения («подстройки») оценок мультипликаторов включает следующие этапы:

1. вычисление векторов  $\bar{\mu}$  и  $\bar{\bar{\mu}}$  для межотраслевой таблицы-аналога;
2. расчет «подстрочных» коэффициентов  $\beta_j$  путем решения уравнения

$$\mu_j = \beta_j \bar{\mu}_j + (1 - \beta_j) \bar{\bar{\mu}}_j, \quad j=1, \dots, n. \quad (14)$$

относительно  $\beta_j$  на таблице-аналоге;

3. определение векторов  $\bar{\mu}$  и  $\bar{\bar{\mu}}$  для анализируемой таблицы;

4. расчет искомого вектора  $\mu$  по (13) с коэффициентами  $\beta_j$ , построенными на таблице-аналоге.

Для вычисления векторов  $\bar{\mu}$  и  $\bar{\bar{\mu}}$  могут служить как (9), так и (10), причем последнее уравнение применимо лишь для отдельных отраслей с известной структурой затрат.

Понятно, что в ряде случаев прямое сравнение эффективности предложенного метода невозможно, в том числе и с другими методами, не представленными в данной публикации. В настоящее время автор занят их эмпирическим сопоставлением для таблиц «затраты-выпуск» различных стран.

### Список литературы:

1. Красносельский М.А., Вайникко Г.М., Забрейко П.П., Руицкий Я.Б., Стеценко В.Я., Приближенное решение операторных уравнений. Издательство Наука, Главная редакция физико-математической литературы, Москва, 1969, — 456 с.
2. BURFORD R.L and KATZ J.L. A Method of estimation of input-output type output multipliers when no I-O model exists. // Journal of Regional Science. — 1981. — Vol. 21. — № 2.
3. HARRIGAN F.J. The estimation of input-output type output multipliers when no input-output model exists: a comment. // Journal of Regional Science. — 1982. — Vol. 22. — pp. 375—381.
4. HUSSAIN ALI BEKHET Output, Income and Employment Multipliers in Malaysian Economy: Input-Output Approach. // International Business Research. — 2011. — Vol. 4. — № 1; January 2011 — p. 208—223.
5. KATZ J.L. A Shortcut Method for Computing Final Demand Multipliers for Small Regions: Comment. // Environment and Planning, A. — 1983. — Vol. 15, — № 4.
6. KATZ J.L. and BURFORD R.L. A comparison of estimators of output multipliers from incomplete input-output data. // The Annals of Regional Science — 1981. — Vol. 15, — № 2, — pp. 39—54.
7. KATZ J.L. and BURFORD R.L. The estimation of input-output type output multipliers when no input-output model exists: a reply. // Journal of Regional Science. — 1982. — Vol. 22. — № 2. — pp. 383—387.
8. PIBBS P.J., and HOLSMAN A.J. A Reply to Katz's Comment. // Environment and Planning, A. — 1983. — Vol. 15, — № 4.
9. PIBBS P.J., and HOLSMAN A.J. A Shortcut Method for Computing Final Demand Multipliers for Small Regions. // Environment and Planning, A. — 1980. — Vol. 12, — № 9.

## **РАЗРАБОТКА ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ШКАЛЫ ОЦЕНКИ ТЯЖЕСТИ СОСТОЯНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ОСТРОЙ ПОЧЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ**

***Карякина Ольга Евгеньевна***

*канд. биол. наук, доцент ФГАОУ ВПО Северный (Арктический)  
федеральный университет имени М.В. Ломоносова,  
г. Архангельск  
E-mail: [novogil@mail.ru](mailto:novogil@mail.ru)*

***Карякин Алексей Андреевич***

*канд. техн. наук, доцент  
ГБОУ ВПО Северный государственный медицинский университет,  
г. Архангельск  
E-mail: [biophyzica@gmail.com](mailto:biophyzica@gmail.com)*

***Кузьков Всеволод Владимирович***

*д-р мед. наук, доцент  
ГБОУ ВПО Северный государственный медицинский университет,  
г. Архангельск  
E-mail: [v.kuzkov@mail.ru](mailto:v.kuzkov@mail.ru)*

***Низовцев Николай Владимирович***

*аспирант  
ГБОУ ВПО Северный государственный медицинский университет,  
г. Архангельск  
E-mail: [nizovtsevarh@mail.ru](mailto:nizovtsevarh@mail.ru)*

***Яковлева Яна Викторовна***

*учеб. мастер ФГАОУ ВПО Северный (Арктический) федеральный  
университет имени М.В. Ломоносова,  
г. Архангельск  
E-mail: [yanyakovleva88@yandex.ru](mailto:yanyakovleva88@yandex.ru)*

**DEVELOPMENT OF PROGNOSTIC SCALE  
OF SEVERITY OF PATIENT'S CONDITION  
EVALUATION FOR PATIENTS  
WITH ACUTE RENAL FAILURE**

***Olga Karyakina***

*candidate of Biology, associate professor  
of FSAEI HVE Northern (Arctic) Federal University,  
Arkhangelsk*

***Aleksey Karyakin***

*candidate of Science, associate professor  
of SBEI HVE Northern State Medical University,  
Arkhangelsk*

***Vsevolod Kuzkov***

*doctor of Medical Science, associate professor  
of SBEI HVE Northern State Medical University,  
Arkhangelsk*

***Nikolay Nizovtsev***

*postgraduate of SBEI HVE Northern State Medical University,  
Arkhangelsk*

***Yana Yakovleva***

*educational expert of FSAEI HVE Northern (Arctic) Federal University,  
Arkhangelsk*

**АННОТАЦИЯ**

В статье представлены результаты построения математической модели прогностической шкалы оценки тяжести состояния пациентов с острой почечной недостаточностью с использованием нейросетевого моделирования и логистического регрессионного анализа. Разработанная модель является основой для создания программного модуля по оценке риска предсказанной летальности.

**ABSTRACT**

In the article there are presented the mathematical model definition's results of the prognostic scale of severity of patient's condition evaluation. The diagnosis of examined patients is acute renal failure. In the research were used neural network modeling as well as logistic regression analysis.

The developed model is the basis for programming module creation for predicted lethality risk assessment.

**Ключевые слова:** острая почечная недостаточность; прогностическая шкала; нейросетевое моделирование; программный модуль.

**Keywords:** acute renal failure; prognostic scale; neural network modeling; programming module.

Проблема острых повреждений почек — одна из самых актуальных для современной нефрологии и медицины в целом. Острая почечная недостаточность (ОПН) широко распространенное и чрезвычайно опасное состояние, с которым может столкнуться врач практически любой специальности. Лечение ОПН остается одной из важных и сложных проблем медицины, при этом частота ОПН в отделениях интенсивной терапии составляет от 5 % до 15 % [2]. В последние годы активно разрабатываются системы быстрой и объективной оценки степени тяжести патологического процесса и прогнозирования исхода заболевания на основе учета анамнестических, клинических, лабораторных и инструментальных данных. Протоколы обследования и лечения реанимационных больных, учитывают тяжесть критического состояния, без объективной оценки которой невозможно проведение эффективной целенаправленной интенсивной терапии, прогнозирование исходов и анализ результатов лечения больных.

Для сравнения тяжести состояния и прогнозирования госпитальной летальности в настоящее время в отделениях интенсивной терапии используются различные реанимационные шкалы, моделирование которых включает оценку целого ряда клинических и лабораторных параметров. Такие интегральные шкалы позволяют оценить работу отделения интенсивной терапии, объективизировать тяжесть состояния больных и прогнозировать возможный риск госпитальной смертности [4].

Наиболее часто используемые шкалы оценки тяжести состояния и прогноза летального исхода в реанимационных отделениях (SAPS II, APACHE II, III) показывают недостаточную эффективность и точность при изолированном применении, они не чувствительны для индивидуального прогноза, основываются на физиологических показателях только при поступлении, не учитывают смертность, связанную с присоединением внутрибольничной инфекции и других осложнений при длительном нахождении в реанимационном отделении [1].

Следует также отметить, что разнообразные патологические состояния имеют свои детерминанты исхода заболевания, поэтому для точной оценки риска наступления летального исхода и возможности выздоровления необходимо использовать ту прогностическую шкалу, которая наиболее адаптирована к конкретной нозологической форме [3]. Кроме того, указанные шкалы не учитывают индивидуальную реактивность к стресс-воздействиям и состояние приспособительных механизмов конкретного больного, что диктует необходимость развития новых подходов к оценке тяжести состояния с использованием математических моделей. Учитывая вышеизложенное, объективная оценка тяжести состояния пациента при ОПН и определение вероятности неблагоприятного исхода представляют определенные сложности.

Цель. Разработка интегральной реанимационной шкалы, обеспечивающей повышение качества прогнозирования оценки тяжести состояния пациента с ОПН, на основе нейросетевого моделирования и множественного статистического анализа.

Материалы и методы. В ходе проведения настоящего исследования ретроспективно были проанализированы истории болезни 284 пациентов в возрасте от 20 до 93 лет с ОПН, находившиеся на лечении в отделении анестезиологии, реанимации и интенсивной терапии Первой городской клинической больницы им. Е.Е. Волосевич г. Архангельска в 2011 г. Среди пролеченных пациентов мужчин — (60,4±2,9) %, женщин — (39,6±2,4) %. Статистический анализ показал, что среди всех пролеченных пациентов выжило — (64,8±3,2) %, умерло — (35,2±2,1) %. Было установлено, что наибольшую долю составляют пациенты, находящиеся в возрастной категории от 61—80 лет — (42,6±1,8) %. Особое значение имеет ОПН, которая осложняется различными сопутствующими заболеваниями. Наибольшую долю составила группа пациентов с заболеваниями желудочно-кишечного тракта (27,0±2,6) %, (12,3±1,9) % — с сосудистыми, (11,2±1,9) % — с уронефрологическими заболеваниями. Было установлено, что среди умерших пациентов больше всего оказалось больных с неинфекционной причиной ОПН — (68,0±1,7) %, из которых наибольшую долю составили пациенты с сосудистыми заболеваниями — (62,9±2,2) %.

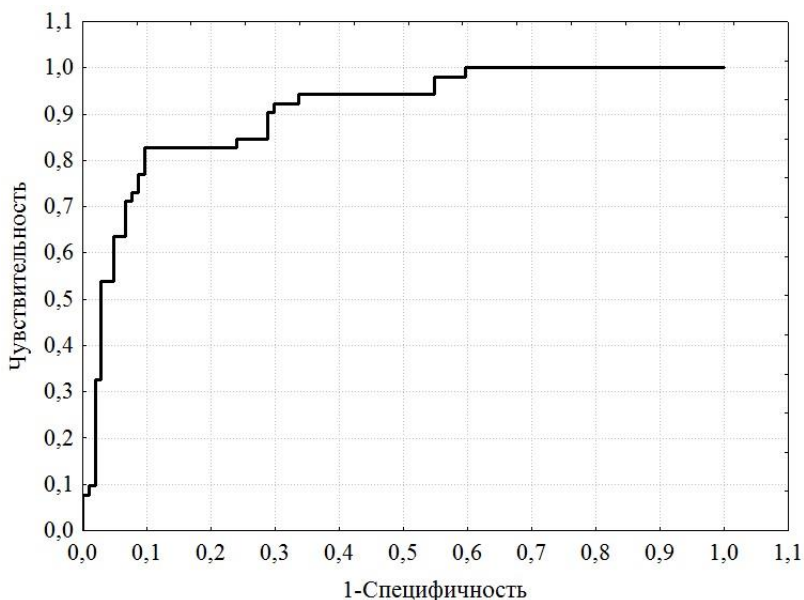
Статистический анализ результатов исследования проведен с использованием пакета прикладных программ “Microsoft Excel 2003” (США) и “Statistica 7.0” (США). Вычислялась одномерная описательная статистика для каждого из анализируемых показателей, проверка законов распределения выполнялась с использованием

статистического критерия Пирсона. Сравнение двух разных групп по количественным признакам проводилось с использованием t-критерия Стьюдента, U-критерия Манна-Уитни. Для выявления факторов риска летальности у пациентов с ОПН был использован метод нейросетевого моделирования с использованием пакета прикладных программ “Statistica Neural Networks”. Оценка прогностической достоверности нейросетевой модели была проведена с помощью ROC-анализа путем построения графика с характеристической кривой. Оценка вероятности наступления неблагоприятного исхода у пациента осуществлялась путем построения логистической регрессионной модели. Коэффициенты уравнения логистической регрессии определяли методом максимального правдоподобия. Значимость логистической регрессионной модели оценивали с помощью  $\chi^2$ -критерия, также производили анализ соответствия распределения остатков нормальному закону. Критический уровень значимости (p) принимался равным 0,05. Разработка программного модуля по оценке вероятности риска летального исхода осуществлялась в среде программирования “Borland Delphi”.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе в процессе построения нейросетевых моделей путем пошагового включения переменных добивались получения алгоритма с наиболее высокой точностью распознавания исхода заболевания. Из доступных для моделирования нейронных сетей были выбраны нейронные сети, выполняющие задачи классификации со следующей архитектурой: многослойные персептроны, вероятностные сети. Дополнительно выполнен анализ чувствительности, который позволил расположить рассматриваемые факторы риска по степени значимости в том порядке, который соответствует степени ухудшения качества модели при исключении из нее соответствующей переменной. Были выделены следующие предполагаемые факторы риска: основной диагноз, уровень натрия, калия, креатинина, содержание тромбоцитов, показатель диуреза (на 2-е сутки) и потребления жидкости (в 1-е сутки), а также возрастная категория и пол пациента.

Установлено, что наиболее адекватные результаты получены при использовании архитектуры многослойного персептрона с 2 слоями. Наибольшее значение точности было получено при распознавании случаев летального исхода — 90,4 %. Точность распознавания случаев благоприятного исхода ОПН у пациентов составила 80,2 %. Диагностическую эффективность полученного алгоритма оценивали путем расчета величины площади под ROC-кривой, отражающей зависимость чувствительности и специфичности нейросетевой

системы, которая составила 0,903, что говорит о высокой достоверности полученных результатов (Рисунок 1).



**Рисунок 1. ROC-кривая для разработанного нейросетевого алгоритма**

При разработке прогностической шкалы в ее основу вошли факторы, доказавшие свою высокую прогностическую ценность в ходе выполнения нейросетевого моделирования. Доверительный интервал значений каждого количественного фактора риска был разделен на ранги с присвоением соответствующих баллов, возрастание которых свидетельствует о повышенной степени отклонения данного показателя от границ нормы. Ранжирование по градациям таких лабораторных показателей как натрий, калий и креатинин сыворотки крови производилось согласно нормам, принятым в общеизвестных шкалах APACHE II, возрастного фактора — согласно реанимационной шкалы SAPS. Присвоение баллов для градаций таких показателей как диурез, содержание тромбоцитов и потребление жидкости производили в соответствии с общепринятыми границами нормы этих параметров. Ширина шага при определении границ диапазонов показателей, включенных в прогностическую шкалу, определялась



с помощью рассчитанных значений стандартного отклонения. Дополнительно были включены такие факторы как «сепсис», нахождение пациента на искусственной вентиляции легких (ИВЛ), оказание инотропной поддержки. Литературные данные свидетельствуют о том, что сочетание ОПН и септических осложнений увеличивает летальность до 70 %.

Далее, для каждого пациента была рассчитано суммарное количество баллов по всем включенным в прогностическую шкалу параметрам и получено логистическое регрессионное уравнение, позволяющее рассчитывать вероятность наступления летального исхода у пациентов с ОПН.

Для оценки точности разработанной шкалы оценки тяжести состояния пациентов с ОПН было произведено её тестирование на исходных записях базы данных. Точность логистической регрессионной модели составила: для оценки вероятности выживания — 83 %, летального исхода — 85 %.

Полученные результаты статистического моделирования были заложены в основу программного модуля по оценке тяжести состояния пациентов с ОПН. После запуска программного модуля пользователь может выбрать входные параметры, на основании которых автоматически рассчитывается итоговая сумма баллов и процент предсказанной летальности для каждого пациента (Рисунок 2).

Основной диагноз ЖКТ 1	Натрий (1 сутки) 111-119 3
Пол мужской 1	Диурез (2 сутки) 800-1000 1
Калий (1 сутки) 2,5-2,9 2	Потребление (1 сутки) 1750-2100 1
Сумма баллов: 9	Предсказанная смертность: 37%

**Рисунок 2. Фрагмент диалогового окна программного модуля по оценке тяжести состояния пациентов с ОПН**

Выводы. Оценка тяжести состояния пациента — важный момент в работе врача-реаниматолога, необходимый для определения тактики ведения пациента. Проведенное исследование дает основание утверждать, что разработанная нами на основе методов многомерного статистического моделирования шкала позволит получить с высокой надежностью и достоверностью объективизированную оценку тяжести состояния пациента с ОПН на основе расчета вероятности летального исхода. Удобство и качество использования разработанной прогностической шкалы в повседневной клинической практике во многом определяется небольшим количеством и высокой степенью доступности входных параметров. Разработанный программный модуль позволит быстро оценить вероятность риска летального исхода, а также осложнений со стороны других функциональных систем организма у пациента с ОПН.

### **Список литературы:**

1. Малов А.А., Мухоедова Т.В. Сравнительная оценка шкал тяжести при диализ-зависимой острой почечной недостаточности после кардиохирургических вмешательств // Эфферентная терапия — 2010. — № 4. — С. 15—21.
2. Проблемы диагностики и стратификации тяжести острого повреждения почек / А.В. Смирнов, И.Г. Каюков, О.А. Дегтерева и др. // Нефрология. — 2009. — № 3. — С. 9—18.
3. Прогноз госпитальной летальности у больных с острой почечной недостаточностью с использованием реанимационных шкал / Е.В. Федичева, К.Я. Гуревич, А.В. Дац, С.М. Горбачева // Сибирский медицинский журнал. — 2008. — № 2. — С. 27—29.
4. Wang I.K., Wang S.T., Lin C.L., et al Early prognostic factors in patients with acute renal failure requiring dialysis // J. Am. Soc. Nephrol. — 2006. — Vol. 17 — № 4. — P. 1143—1150.

# АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЁТА ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

*Клименко Елена Васильевна*

*канд. пед. наук, доцент, Тобольская государственная  
социально-педагогическая академия им. Д.И. Менделеева,  
г. Тобольск*

*E-mail: [klimeva@yandex.ru](mailto:klimeva@yandex.ru)*

## AUTOMATION OF CALCULATION OF ENERGY CONSUMPTION ON THE BASIS OF THE ANALYSIS OF TEMPORARY RANKS

*Klimenko Elena*

*candidate of pedagogic science, assistant professor,  
Tobolsk State Social and Pedagogical Academy  
named after D.I. Mendeleev,  
Tobolsk*

### АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты исследования энергозатрат на реальном высокотехнологичном производстве. Целью исследования, проводимого в рамках сотрудничества, явилась оптимизация энергопотребления. Расчёт, основанный на фактических данных с использованием эконометрических методов, реализован статистическими инструментами Microsoft Excel.

### ABSTRACT

The results of research of energy consumption are presented in the article on real hi-tech production. The goal of research, carried out within cooperation is optimization of energy consumption. The calculation based on actual data with use of econometric methods is realized by the statistical instrument of Microsoft Excel.

**Ключевые слова:** энергопотребление, информационные технологии, математические методы, автоматизация расчёта.

**Keywords:** energy consumption, information technologies, mathematical methods, automation of calculation.

Анализ временных рядов электропотребления позволяет установить динамику изменения норм расхода электроэнергии за период наблюдения, не раскрывая внутренних взаимосвязей между электропотреблением и основными факторами, определяющими его.

Временной ряд электропотребления — совокупность значений фактического электропотребления за несколько последовательных моментов или периодов времени (месяц, квартал, год и т. д.). Каждый уровень временного ряда формируется под воздействием большого числа факторов, которые обычно разделяют на группы [4, с. 423]:

- факторы, формирующие тенденцию ряда;
- факторы, формирующие циклические (сезонные) колебания ряда;
- случайные факторы.

Основная задача исследования временного ряда электропотребления — выявление и придание количественного выражения каждой из перечисленных компонент с тем, чтобы использовать полученную информацию для прогнозирования будущих значений ряда.

Предварительный анализ данных на наличие выбросов статистики проведён методом Ирвина. Полученные расчётные значения не превосходят табличных значений критерия для уровня значимости 0,05, т. е. данные представлены не более чем с 5 % ошибкой.

При наличии во временном ряде тенденции и циклических колебаний значения каждого последующего уровня ряда зависят от предыдущих. Количественно автокорреляцию уровней ряда можно измерить с помощью линейного коэффициента корреляции между уровнями исходного временного ряда и уровнями этого ряда, сдвинутыми на несколько шагов во времени.

Последовательность коэффициентов автокорреляции уровней первого, второго и т. д. порядков определяют автокорреляционную функцию временного ряда. Анализ автокорреляционной функции и её графика (коррелограммы) позволяет выявить структуру временного ряда. Структура сезонных колебаний рассматриваемых процессов позволяет сделать вывод о том, что временные ряды будут иметь мультипликативную модель. Поэтому фактический уровень временного ряда электропотребления представляется произведением трендовой ( $t$ ), сезонной ( $s$ ) и случайной ( $e$ ) компоненты:  $y = t \cdot s \cdot e$ .

Процесс построения модели временного ряда электропотребления включает в себя следующие шаги.

1. Выравнивание исходного ряда методом скользящей средней за три месяца одного квартала со смещением.

2. Расчет значений сезонной компоненты  $s$  с использованием центрированной скользящей средней и оценка сезонной компоненты.

3. Устранение сезонной компоненты из исходных уровней ряда и получение выравненных данных  $(t \cdot e)$  в мультипликативной модели временного ряда электропотребления.

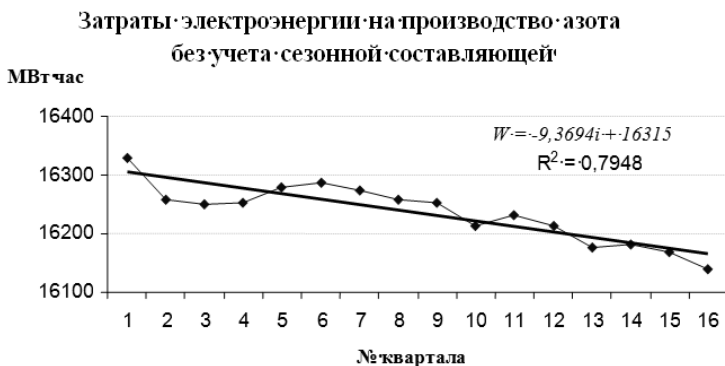
4. Аналитическое выравнивание уровней  $(t \cdot e)$  и расчет значений  $t$  с использованием полученного линейного тренда.

5. Расчет полученных по модели значений  $(t \cdot e)$  или  $(t / e)$ .

6. Расчет абсолютных ошибок по формуле  $e = y / (t \cdot s)$ .

Если полученные значения ошибок не содержат автокорреляции (проверяются на автокорреляцию по  $\alpha$ -критерию Дарбина-Уотсона), ими можно заменить исходные уровни ряда.

Расчёты, произведённые по указанной схеме, позволяют определить сезонные компоненты временных рядов электропотребления для каждого из рассматриваемых объектов цеха, устранить их из исходных уровней ряда, определить уравнение тренда для каждого ряда и проверить построенные таким образом временные модели на адекватность. Оценка значимости коэффициентов уравнения тренда произведена по  $t$ -критерию Стьюдента. Выбранное уравнение оценено по  $F$ -критерию Фишера. Остатки являются случайными, не зависящими друг от друга и от времени, что равносильно отсутствию автокорреляции (по  $\alpha$ -критерию Дарбина-Уотсона).



**Рисунок 1. Модель временного ряда электропотребления**

Проводимые численные расчёты реализованы в табличном процессоре Microsoft Excel с использованием математических функций и статистических инструментов (Анализ данных, описа-

тельная статистика, Скользящее среднее и др.) [2, с. 87]. Графические представления полученных временных моделей электропотребления выполнены также средствами Microsoft Excel (построение графиков зависимостей и диаграмм, добавление линии тренда с указанием аналитического выражения тренда и коэффициента достоверности аппроксимации). Пример визуализации результатов исследования по определению тренда (предрасположенности) представлен на рис. 1.

Данные возможности современного программного средства позволяют многократно осуществлять аналогичные расчёты при обработке иных экспериментальных данных. Единожды занесённые зависимости при обработке нового эмпирического материала автоматизируют процесс анализа прогнозируемых затрат электроэнергии. Таким образом, современные информационные технологии предполагают пользовательский уровень готовности к проведению исследовательской работы и определенный уровень математической подготовки [3, с. 14].

Проведенный анализ временных рядов электропотребления позволяет сделать следующие выводы:

1. При производстве воздуха и азота наблюдается определённая динамика изменения электропотребления во времени, достаточно сильно функционально зависит от объема выпуска продукции;
2. Эти связи тесные прямые. Например, при изменении на единицу объемов производства, электропотребление возрастает;
3. Регрессионные модели адекватны происходящим производственным процессам и могут быть использованы в прогнозировании электропотребления в диапазоне доверительных областей, вычисленных как для ежемесячной, так и для среднегодовой регрессии по каждому виду продукции.

Данная работа была проведена в рамках реализации взаимодействия «ВУЗ-предприятие» для студентов, обучающихся по направлению «Математика и компьютерные науки» профиль подготовки «Вычислительные, программные, информационные системы и компьютерные технологии». Научно-исследовательская деятельность была организована потенциальным работодателем — соответствующими службами градообразующего предприятия ООО «Тобольск-Нефтехим» — совместно с представителем вуза. Деятельность студентов была направлена на решение актуальных проблем производства, связанных с использованием математических методов и компьютерных технологий, математического моделирования

процессов и объектов, разработкой эффективных методов решения задач естествознания, техники, экономики и управления [1, с. 36].

### **Список литературы:**

1. Буслова Н.С., Клименко Е.В. Обучение программированию в процессе развития профессиональных компетенций студентов-информатиков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2013. — № 9 — с. 36—37.
2. Клименко Е.В. Интенсификация обучения математике студентов технических вузов посредством использования новых информационных технологий: Дис.... канд. пед. наук. Саранск, 1999. — 189 с.
3. Клименко Е.В. Формирование навыков исследовательской деятельности средствами курса системы дополнительного образования «Обработка результатов лабораторных диагностик» // Научно-технический журнал «Технологии и методики в образовании»// ISSN 2078-8827, — № 3, — 2012 г. — С. 13—17.
4. Эконометрика. Учебное пособие /И.И. Елисеева. С.В. Курышева, Д.М. Гордиенко и др. М.: Финансы и статистика, 2010. — 576 с.

## **СЕКЦИЯ 3.**

### **ФИЗИКА**

#### **3.1. МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ**

##### **АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ И ПРЕДЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО МНОЖИТЕЛЯ, ПРИ ПИРОЛИЗЕ ДРЕВЕСИНЫ В ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ, ОТ ПРОЦЕНТНОГО СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА**

*Лоцилов Сергей Андреевич*

*ассистент кафедры ИиОД, Заволжского филиала НГТУ*

*им. Р.Е. Алексеева,*

*г. Нижний Новгород*

*Email: [sergei@2lemetry.com](mailto:sergei@2lemetry.com)*

*Катаева Лилия Юрьевна*

*д-р физ.-мат. наук, доц., проф. кафедры ПМ НГТУ им. Р.Е. Алексеева,*

*г. Нижний Новгород*

*Лоцилов Александр Андреевич*

*соискатель НГТУ им. Р.Е. Алексеева,*

*г. Нижний Новгород*



# ACTIVATION ENERGY AND PRE-EXPONENTIAL FACTOR DEPENDENCY ON OXIGEN PERCENT QUANTITY ANALYSIS, FOR WOOD PYROLYSIS PROCESS IN OXIDATIVE ENVIRONMENT

*Loshchilov Sergey Andreevich*

*assistant, NNSTU n.a. R.E. Alekseev, Zavolzhsky department,  
Nizhny Novgorod*

*Kataeva Lilija Jurjevna*

*dr. of math and physics, professor NNSTU n.a. R.E. Alekseev,  
Nizhny Novgorod*

*Loshchilov Alexander Andreevich*

*applicant NNSTU n.a. R.E. Alekseev,  
Nizhny Novgorod*

## АННОТАЦИЯ

Проанализированы экспериментальные термогравиметрические данные пиролиза хвои сибирского кедра, при различных значениях процентного содержания кислорода в окружающем воздухе. Установлены значения энергии активации и предэкспоненциального множителя для каждого из экспериментов. Построены графики зависимости обоих параметров от процентного содержания кислорода при помощи полиномиальной аппроксимации, в линейной и логарифмической шкале.

## ABSTRACT

Experimental thermo gravimetric data of Siberian pine needles' pyrolysis are analyzed at various oxygen percentages in ambient air. For each of experiments there are defined values of energy of activation and pre-exponential factor. There are made plots of both parameters against oxygen percentage with a help of polynomial approximation in a linear and a logarithmic scale.

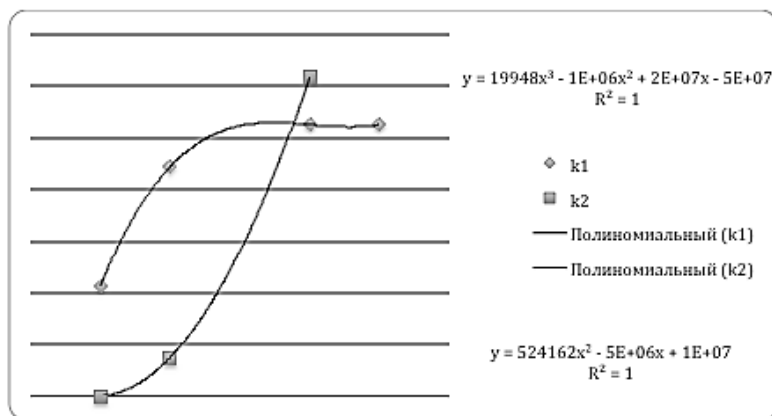
**Ключевые слова:** энергия активации; пиролиз; лесные пожары

**Keywords:** energy of activation; pyrolysis; forest fires.

Работа выполнена при финансовой поддержке 13-03-91164-ГФЕН\_а «Экспериментальное исследование кинетики и механизма термического разложения лесных горючих материалов и процессов распространения пламени по их слою»

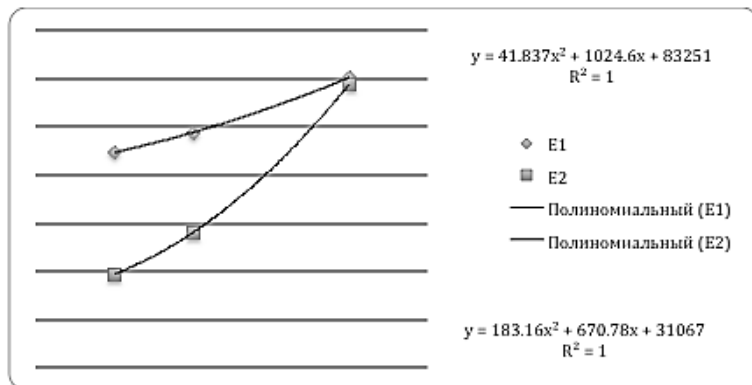
Для определения термокинетических постоянных для реакций имеющих место при пиролизе древесины, в рамках данного исследования, были использованы экспериментальные данные с термогравиметрической установки, осуществлявшей нагрев материала с постоянной во времени скоростью увеличения температуры при постоянном давлении. В рамках одного эксперимента концентрация кислорода поддерживалась постоянной.

Для оценки термокинетических постоянных по кривой потери массы, был использован итерационный метод подбора этих значений усовершенствованным методом половинного деления [1]. Метод основан на анализе близости экспериментально полученной кривой к теоретической, при предполагаемых значениях энергии активации и предэкспоненциального множителя [2]. Такой подход, в отличие от прямого метода оценки термокинетических постоянных, позволяет добиться как совпадения самой кривой потери массы с экспериментальной, так и совпадения кривой ее производной с производной от экспериментальной кривой [3].

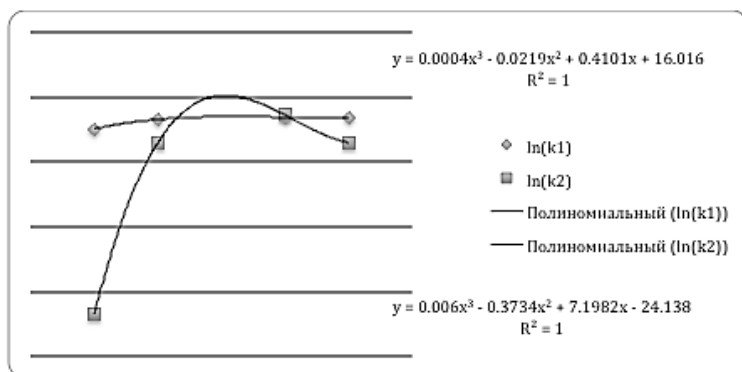


**Рисунок 1. Зависимость предэкспоненциального множителя от процентного содержания кислорода:**  
 **$k_1$  — предэкспоненциальный множитель первой стадии,**  
 **$k_2$  — предэкспоненциальный множитель второй стадии**

После обработки экспериментальных данных по указанной методике были получены значения термодинамических постоянных. Построив в Excel зависимость полученных данных от процентного содержания кислорода (рис. 1, рис. 2), можно сделать выводы.



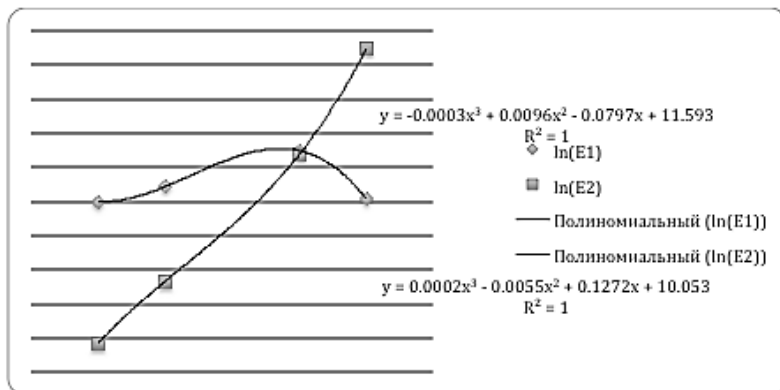
**Рисунок 2. Зависимость энергии активации от процентного содержания кислорода: E1 — предэкспоненциальный множитель первой стадии, E2 — предэкспоненциальный множитель второй стадии**



**Рисунок 3. Логарифмическая зависимость предэкспоненциального множителя от процентного содержания кислорода: k1 — предэкспоненциальный множитель первой стадии, k2 — предэкспоненциальный множитель второй стадии**

Как и предполагалось, при увеличении процентного содержания кислорода, увеличиваются и значения термокинетических постоянных.

На основе полученных данных была построена логарифмическая зависимость, представленная на рисунках 3 и 4:



**Рисунок 4. Логарифмическая зависимость энергии активации от процентного содержания кислорода: E1 — предэкспоненциальный множитель первой стадии, E2 — предэкспоненциальный множитель второй стадии**

#### Список литературы:

1. Korobeinichev O.P., Liliya Kataeva, Dominique Cancellieri. 2013, Wildfire Chemistry. The Kinetics and the Mechanism of Fuels Pyrolysis, their Ignition and Combustion, IV Fire Behavior and Fuels CONFERENCE, St. Petersburg.
2. Lukáš Gašparovič, Zuzana Koreňová, Ľudovít Jelemenský, Kinetic study of wood chips decomposition by TGA. PROCEEDINGS of 36th International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering, Tatranské Matliare, Slovakia.
3. Matala A., Lautenberger C., Hostikka S., 2012, Generalized method for pyrolysis kinetic parameter estimation and comparison to existing method. Journal of Fire Sciences, 30:339.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ  
РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА  
ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО КАВИТАЦИОННОГО  
СМЕСИТЕЛЯ**

***Прохасько Любовь Савельевна***

*канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет),  
Челябинск  
E-mail: [prokhaskols@mail.ru](mailto:prokhaskols@mail.ru)*

***Ярмаркин Дмитрий Александрович***

*студент ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный  
университет» (национальный исследовательский университет),  
Челябинск  
E-mail: [k21447@mail.ru](mailto:k21447@mail.ru)*

**MATHEMATICAL MODEL  
OF WORKING PROCESS  
OF THE HYDRODYNAMIC CAVITATIONAL MIXER**

***Lubov Prokhasko***

*candidate of engineering sciences, associate professor  
of South Ural State University (national research University),  
Chelyabinsk*

***Dmitry Yarmarkin***

*student of South Ural State University (national research University),  
Chelyabinsk*

**АННОТАЦИЯ**

Предложена математическая модель рабочего процесса гидродинамического кавитационного смесителя, реализующего формирование в зоне очагов кавитации бурного сверхзвукового парожидкостного течения смеси, переходящего затем в спокойное дозвуковое состояние через скачок давления. Скачок давления является дополнительным

интенсифицирующим процесс смешения фактором. Proposed of working process

### ABSTRACT

The mathematical model of hydrodynamic cavitation mixture working process has been proposed. It realizes rapid supersonic vapor-liquid current in the zone of the of the cavitation centers, passing then into quiet subsonic state through pressure jump. The pressure jump is an additional factor, which intensifies mixing process.

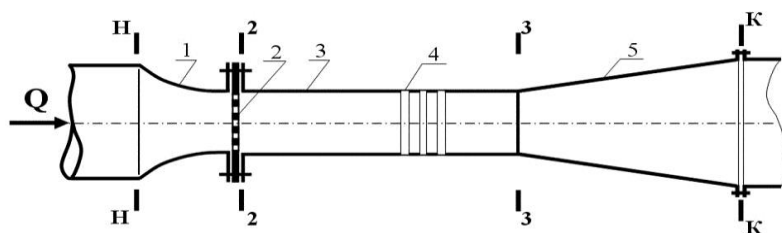
**Ключевые слова:** математическая модель; кавитация; сверхзвуковое течение; дозвуковое течение; скачок давления; двухфазная среда.

**Keywords:** mathematical model; cavitation, supersonic stream; subsonic stream; pressure jump; two-phase environment.

Смесительные устройства и системы на их основе находят широкое применение во многих отраслях промышленности, что обусловлено потребностью в таких технологических операциях, как перемешивание, диспергирование, процессы тепло- и массопереноса и пр. Смесительные устройства применяют при добыче и переработке нефти и газа; при очистке отходящих газов в различных технологиях; при обработке питьевых и сточных вод [1, 2, 8]; в производстве синтетических волокон; в целлюлозно-бумажной и пищевой промышленности и пр. [5, 7]. Разнообразие технологических процессов, в которых используют смесительные устройства и системы на их основе, определяет существование множества конструктивных исполнений таких устройств. В основе одних лежит механическая обработка смешиваемых потоков, в основе других — волновая [3, 6]. Наличие подвижных элементов в смесительных устройствах определяет их невысокие эксплуатационные показатели надежности. Поэтому предпочтение следует отдавать статическим смесителям, а основным направлением совершенствования рабочего процесса этих устройств является повышение степени дисперсности готового продукта. Механическая обработка смешиваемых компонентов не обеспечивает высокий уровень смешивания компонентов. Необходима качественно иная технология получения смесей [4]. Совершенствование и интенсивное развитие технологий, связанных с процессами смешения трудносмешиваемых или несмешиваемых сред, привело к тому, что для получения стойких против расслоения смесей стали использовать кавитацию. В настоящее время кавитационные устройства нашли широкое применение во многих технологических

процессах. Однако потенциальные возможности кавитационных смесителей далеко не исчерпаны.

На рис. 1 приведена принципиальная схема гидродинамического кавитационного смесителя, состоящего из подводящего конфузора 1, сопла (кавитатора) 2, рабочей камеры 3 и диффузора 5. На выходе сопла (сечение 2–2) происходит резкое падение давления до давления насыщенного пара, что приводит к переводу части жидкой фазы в парообразную и образованию высокоскоростного двухфазного потока. Рабочий процесс такого смесителя основан на эффекте повышенной сжимаемости однородного двухфазного потока и снижения скорости звука в двухфазной среде, поэтому поток оказывается сверхзвуковым даже при относительно невысоких скоростях — несколько десятков и даже несколько метров в секунду. Торможение сверхзвукового потока приводит к переходу через звуковой барьер с образованием скачка давления — ударной волны. В скачке давления возрастает плотность среды, и среда переходит в однофазное жидкое состояние, при этом происходит обмен импульсом между фазами и достигается глубокое перемешивание фаз. Этот процесс позволяет получить высококачественные смеси, мелкодисперсные эмульсии из нерастворимых и химически не взаимодействующих компонентов и пр. Для реализации скачка давления именно в рабочей камере служат канавки 4.



*Рисунок 1. Схема гидродинамического кавитационного смесителя*

Исходными уравнениями рабочего процесса смесителя, являются: уравнение баланса расходов; число кавитации для струйного пограничного слоя; уравнение Д. Бернулли для потока на участке между нормальными сечениями Н–Н и 2–2 (см. рис. 1); уравнение баланса удельных энергий потока для сечений Н–Н и К–К; формула Борда-Карно для потерь удельной энергии при внезапном торможении потока от скорости  $V_2$  на выходе из сопла до скорости  $V_3$  в рабочей камере при полном её заполнении, а также полуэмпирическая

формула, устанавливающая взаимосвязь между числом кавитации  $\sigma$  и геометрическим параметром кавитатора  $\Omega$ :

$$\begin{aligned} \text{при } 0 < \Omega \leq 0,5 & \quad \sigma = 0,07 - 1,36 \cdot (1 - \Omega) \\ \text{при } 0,5 < \Omega \leq 1,0 & \quad \sigma = 0,41, \end{aligned} \quad (1)$$

где:  $\Omega = A_2/A_3$  — относительная площадь сопла;

$A_2$  — площадь нормального сечения 2–2;

$A_3$  — площадь нормального сечения 3–3 рабочей камеры (см. рис. 1).

Комбинация вышеперечисленных уравнений приводят к выражению, которое является базовым при расчете кавитационного смесителя:

$$\frac{P_n - P_k}{P_n - P_{n,n}} = \frac{\zeta_{con} + (\zeta_{кон} + \zeta_{диф} + \zeta_2)\Omega^2 + (1 - \Omega)^2}{1 + \sigma + \zeta_{кав} + \zeta_{кон}\Omega^2}, \quad (2)$$

Где:  $P_{n,n}$  — давление насыщенных паров наиболее легко испаряемого жидкого компонента при температуре смеси в сечении 2–2;

$P_i$  — давление в  $i$ -м сечении потока соответственно;

$\zeta_{кон}$ ,  $\zeta_{кав}$ ,  $\zeta_2$ ,  $\zeta_{диф}$  — коэффициенты гидравлических сопротивлений конфузора 1, кавитатора 2, рабочей камеры и диффузора 5.

Анализ выражения (2) показывает, что относительный перепад давления на смесителе зависит от его основного геометрического параметра и коэффициентов сопротивления элементов проточной части смесителя. Расчеты показывают, что существуют экстремальные значения относительной площади кавитатора, при которых перепад давления на смесителе минимален. Поскольку минимуму функции  $(P_n - P_k)/(P_n - P_{n,n})$  отвечает минимум потерь в смесителе, то экстремальные значения относительной площади сопла  $\Omega$  следует признать оптимальными.



## Список литературы:

1. Кондратьева А.В. Новые технологии обработки молочной продукции (на примере молока коровьего питьевого) / Кондратьева А.В., Ярмаркин Д.А., Прохасько Л.С., Асенова Б.К., Залилов Р.В. // Молодой ученый. — 2013. — № 10. — С. 146—149.
2. Лиходумова М.А. Инновационные технологии водоподготовки для производства слабо- и безалкогольной продукции / Лиходумова М.А., Ярмаркин Д.А., Прохасько Л.С., Асенова Б.К., Залилов Р.В. // Молодой ученый. — 2013. — № 10. — С. 159—161.
3. Патент РФ № 99105906/12, 10.11.2000. Спиридонов Е.К., Прохасько Л.С., Боковиков В.С., Валиев А.Х. Смеситель кавитационного типа // Патент России № 2158627. 1999. Бюл. № 31.
4. Прохасько Л.С. Гидродинамика и расчет кавитационных смесителей непрерывного действия: Автореф. дис. канд. техн. наук Пермь, 2000. — 20 с.
5. Прохасько Л.С. Применение гидродинамических кавитационных устройств для дезинтеграции пищевых сред / Л.С. Прохасько, М.Б. Ребезов, Б.К. Асенова, О.В. Зинина, Р.В. Залилов, Д.А. Ярмаркин // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. — 2013. — Т. 7. — № 2. — С. 62—67.
6. Прохасько Л.С. Гидродинамическая кавитационная технология обработки пищевых сред / Л.С. Прохасько, В.А. Евдокимов // Наука. Образование. Молодежь: мат. научн.-практ. конф., посв. 55-летию АТУ. Алматы, 2012. — С. 256—257.
7. Прохасько Л.С. Расчет кавитационных устройств для обработки жидких пищевых сред /Л.С. Прохасько, Р.В. Залилов, Я.М. Ребезов // Техника и технология пищевых производств: мат. IX междунар. науч.-тех. конф. Могилев, 2013. — С. 260.
8. Прохасько Л.С. Применение гидродинамических кавитационных устройств для процессов водоочистки /Л.С. Прохасько // Междунар. научн.-практ. конф. «Чистая вода — 2009»: сб. науч. тр. Кемерово, 2009. — С. 460—464.

## 3.2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

### РАСЧЕТ МИГРАЦИИ ЗАРЯДА ПО ЦЕПИ ДНК С УЛУЧШЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

***Бойда Денис Леонидович***

*магистрант, Дальневосточный федеральный университет,  
Владивосток  
E-mail: [Boyda\\_d@mail.ru](mailto:Boyda_d@mail.ru)*

***Подоба Диана Александровна***

*студентка, Дальневосточный федеральный университет,  
Владивосток  
E-mail: [podoba\\_diana@mail.ru](mailto:podoba_diana@mail.ru)*

***Ширмовский Сергей Эдуардович***

*канд. физ.-мат. наук, доцент,  
Дальневосточный федеральный университет,  
Владивосток  
E-mail: [shirmovskiy.sye@dvfu.ru](mailto:shirmovskiy.sye@dvfu.ru)*

### CALCULATION OF CHARGE MIGRATION THROUGH DNA SEQUENCE WITH IMPROVED PARAMETRS

***Boyda Denis Leonidovich***

*master student, Far Eastern Federal University,  
Vladivostok*

***Podoba Diana Aleksandrovna***

*student, Far Eastern Federal University,  
Vladivostok*

***Shirmovsky Sergey Ehduardovich***

*ph.D., Associate Professor, Far Eastern Federal University,  
Vladivostok*

## АННОТАЦИЯ

В настоящей работе произведен расчет миграции положительного заряда по трем различным последовательностям оснований ДНК: GATGGG, ATCGACAAA, AGGCGAGTG. Для расчета использовалась нелинейная квантово-классической модель. Результаты получены с использованием точных параметров для моделирования водородной связи. Анализируется миграция заряда по цепи ДНК и деформация самой молекулы под воздействием этой миграции. Результаты с точными параметрами сравниваются с полученными ранее результатами для усредненных параметров.

## ABSTRACT

Positive charge migration through DNA sequences: GATGGG, ATCGACAAA, AGGCGAGTG was calculated. The process was investigated on the basis of nonlinear quantum-classical model. The results were calculated with realistic hydrogen bond parameters. The charge migration and DNA deformation have been analyzed. Results with realistic parameters are compared with results are being calculated in average parameters case.

**Ключевые слова:** ДНК; миграция заряда; нелинейная динамика; квантовая механика.

**Keywords:** DNA; charge migration; nonlinear dynamic; quantum mechanics.

*Данная работа выполнена при поддержке Фонда Дмитрия Зимина «Династия»*

В настоящее время широко исследуется миграция заряда по цепи ДНК. Это связано с тем, что миграция заряда может приводить к повреждению молекулы ДНК, которое лежит в основе многих радиационно-индуцированных эффектов, связанных с гибелью клеток, индукции хромосомных aberrаций, генетических мутаций и злокачественных трансформаций.

Исследовать миграцию заряда по цепи ДНК и при этом учитывать деформацию самой молекулы возможно в квантово-классической модели [4], [2]. Обсудим ее подробнее.

В квантово-классической модели полная энергия системы: ДНК-заряд задается следующим образом:

$$H = H_{cl} + \langle \psi | H_Q | \psi \rangle.$$

Первое слагаемое описывает молекулу ДНК с помощью формализма классической механики, а второе — средняя энергия заряда, свойства которого задаются квантовым оператором Гамильтона  $H_Q$ . Такое разбиение возможно в предположении, что молекула ДНК является макроскопическим объектом по сравнению с зарядом — микроскопическим объектом.

В данной модели молекула ДНК представляется как система пар оснований, расположенных друг над другом и взаимодействующих между собой посредством стэкинговой связи. Два основания объединяются в пару и удерживаются водородной связью. Такая система в работе определяется гамильтонианом  $H_{Cl}$ :

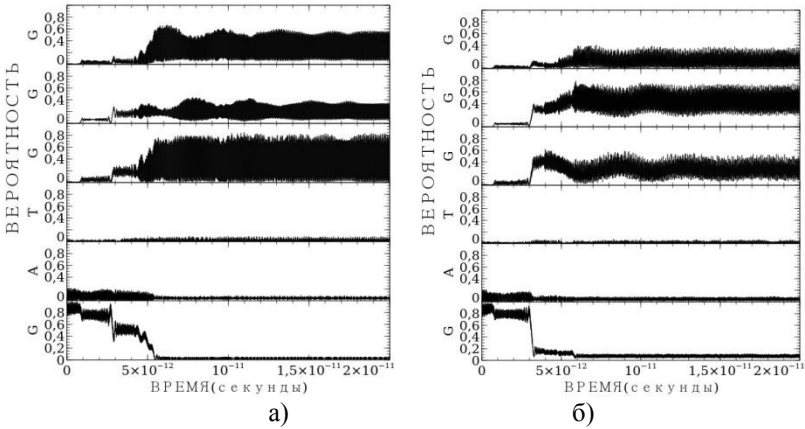
$$H_{Cl} = \sum_{n=1}^N \left( \frac{M\dot{y}_{1,n}^2}{2} + \frac{M\dot{y}_{2,n}^2}{2} + \frac{k_v(y_{1,n} - y_{1,n-1})^2}{2} + \frac{k_v(y_{2,n} - y_{2,n-1})^2}{2} + \frac{k_n(y_{1,n} - y_{2,n} + l)^2}{2} \right).$$

В этом выражении первое и второе слагаемое описывают кинетическую энергию оснований, расположенных на первой и второй цепочке ДНК. Поскольку массы оснований равны по порядку величины, здесь используется средняя масса оснований —  $M$ . Второе и третье слагаемые задают энергию стэкингового взаимодействия, которое в нашей модели не зависит от типа оснований. Строго говоря, стэкинговое взаимодействие для разных пар оснований может характеризоваться разными значениями, однако, на сегодняшний день нам не известны точные параметры для этого типа связей, поэтому в нашей модели оно одинаково для всех пар оснований, где  $k_v$  — силовая константа стэкинговой связи. Последнее, пятое слагаемое определяет энергию водородных связей. Согласно правилу Чаргафа, в ДНК возможны только два типа пар оснований: гуанин — цитозин (в дальнейшем будем их обозначать кратко: G-C) и аденин — тимин (A-T). Причем в первой паре основания удерживаются тремя водородными связями, а во второй — двумя. В этой связи силовая константа взаимодействия будет различна для различных пар:  $k_{G-C} = 0.096 \frac{\text{H}}{\text{Å}^2}$  и  $k_{A-T} = 0.062 \frac{\text{H}}{\text{Å}^2}$ , данные значения взяты из работы [3]. Суммирование производится по всем парам оснований рассматриваемой цепи длины  $N$ .

Свойства заряда задаются следующим оператором Гамильтона  $H_Q$ :

$$H_Q = \sum_{n=1}^N \varepsilon_n |n\rangle\langle n| + \sum_{n \neq m}^N v_{n,m} |n\rangle\langle m|.$$

Здесь первое слагаемое описывает энергию заряда на основании  $n$ , а второе — энергию перехода заряда с  $n$  на  $m$  основание. Энергия заряда на основании задается двумя слагаемыми:  $\varepsilon_n = \alpha_n^0 + \alpha'(y_{1,n} - y_{2,n} + l)$ . Первое слагаемое является статическим и задается энергией ионизации основания  $\alpha_n^0$ , а второе — динамическое и зависит от величины  $(y_{1,n} - y_{2,n} + l)$ , которая представляет собой растяжение пары оснований. В положении равновесия эта величина равна нулю, при растяжении меньше нуля, а при сжатии больше нуля. Это слагаемое учитывает все неопределенные явно эффекты, влияющие на энергию ионизации: деформацию ДНК, свойства среды, контр-ионные движения в растворе т. д. Параметр  $\alpha'$  является подгоночным. Все значения параметров нами взяты из работы [4].



**Рисунок 1. Расчет миграции заряда по последовательности GATGGG: а) — для случая средних параметров водородной связи; б) — для случая точных параметров**

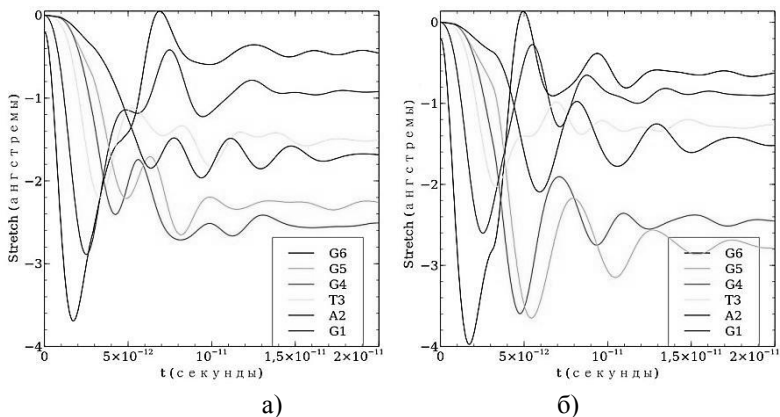
На основе канонических уравнений Гамильтона с учетом сил трения и уравнения Шредингера была получена система из  $3N$  дифференциальных уравнений, которые решались численно методом Рунге-Кутты 4 порядка.

Рассмотрим результаты расчетов миграции заряда по последовательности GATGGG — рис. 1. Расчеты выполнены при значении подгоночного параметра  $\alpha' = 0.073 \frac{eV}{\text{Å}}$ . На рисунке представлены зависимости вероятности пребывания заряда на основаниях от времени, вероятности пребывания заряда на основаниях расположены друг над другом: самый нижний — вероятность пребывания на первом гуанине G, второй — на аденине A и т. д. Графики имеют вид черных широких полос, это связано с тем, что вероятность — сильно осциллирующая величина, и в данном масштабе осцилляции сливаются. На рис. 1а представлен расчет миграция заряда в случае средней силовой константы водородной связи  $k_n = k = 0.079 \frac{\text{H}}{\text{Å}^2}$ . В этом случае в начальный момент времени заряд пребывал на первом гуанине, затем постепенно вероятность пребывания заряда уменьшается. Спустя примерно  $5.1 \cdot 10^{-12}$  секунд заряд покидает первый гуанин и локализуется на последних трех гуанинах минуя аденин и тимин, посредством туннельного эффекта. Далее заряд осциллирует между тремя гуанинами, где вероятность его пребывания максимальна.

На рис. 1б представлен тот же самый расчет, но в случае реальных параметров водородных связей для различных пар оснований. Более детальный выбор параметров повлиял на особенности миграции заряда. Заряд мигрирует более стремительно. Сократилось время миграции заряда, теперь оно составляет  $4.6 \cdot 10^{-12}$  секунд. Кроме того, изменилось распределение заряда между тремя последними гуанинами. Теперь максимальная вероятность пребывания заряда на третьем гуанине, в отличие от прошлого раза, когда максимум был определён на втором гуанине. В целом характер миграции заряда не изменился.

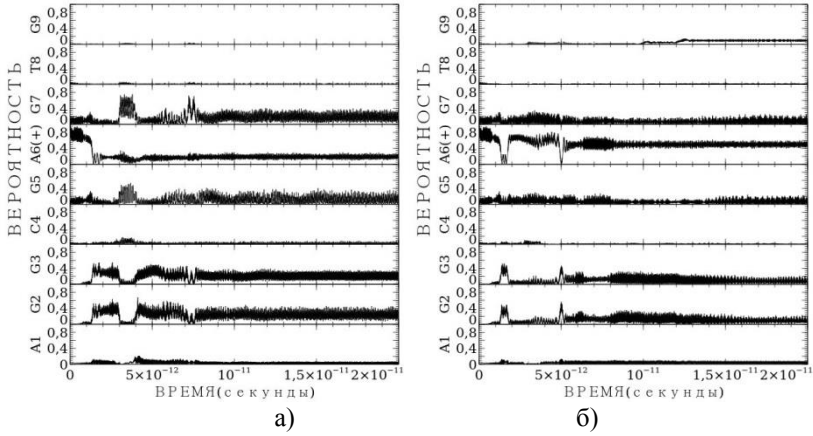
Теперь рассмотрим расчет деформации ДНК для той же последовательности — рис. 2. Деформация ДНК анализируется с помощью введенной ранее величины  $\text{stretch} = (y_{1,n} - y_{2,n} + l)$ , которая представляет собой растяжение пары основания. Заметим, что расстояние между центрами оснований одной пары в положении равновесия нами выбрано равным  $7 \text{ Å}$ , т. е. растяжение равно  $7 \text{ Å}$  соответствует удлинению на 100 %. Кроме того, согласно обзору [1] при растяжении пары оснований более чем на  $1,5\text{—}2 \text{ Å}$  водородную связь можно считать разорванной. Рассмотрим расчеты. В начале все пары оснований рассчитанной цепи растягиваются до определенного момента времени (примерно в этот момент времени происходит перескок заряда), когда начинаются колебания, которые

в последующем затухают, и процесс стабилизируется — растяжения пар основания принимают определенные значения. В целом, за исключением некоторых деталей, расчет с точными параметрами не отличается от расчета с реальными параметрами водородной связи.

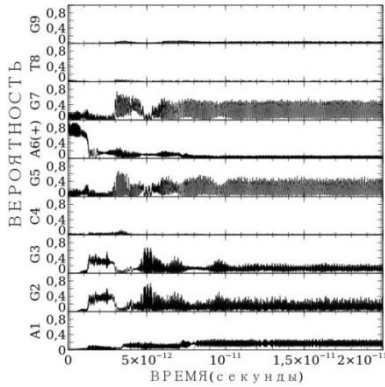


**Рисунок 2. Расчет деформации последовательности молекулы ДНК GATGGG вследствие миграции заряда: а) — для случая средних параметров водородной связи; б) — для случая точных параметров**

Теперь рассмотрим расчет миграции заряда для последовательности AGGCGA(+)GTG — рис. 3. На данном рисунке знаком (+) помечен аденин, на котором находился заряд в начальный момент времени. Расчет выполнен при значении подгоночного параметра  $\alpha' = 0.108 \frac{eV}{\text{А}}$ . В отличие от расчета рис. 3а более точный учет параметров водородной связи приводит к кардинальному изменению ситуации. Если в случае расчета со средними параметрами заряд мигрирует вдоль, рассматриваемой цепи ДНК, то при более реалистичном выборе параметров, при данном значении параметра  $\alpha'$ , миграция заряда отсутствует — заряд остается на аденине А6(+).



**Рисунок 3. Расчет миграции заряда по последовательности AGGCGA(+)+GTG,; а) — для случая средних параметров водородной связи; б) — для случая точных параметров**



**Рисунок 4. Расчет миграции заряда по последовательности AGGCGA(+)+GTG для случая реальных параметров водородной связи**

Поскольку процесс миграции во многом определяется так же выбором параметра  $\alpha'$ , в работе мы нашли значение подгоночного параметра, при котором миграция заряда возможна. На рис. 4. представлен расчет для AGGCGA(+)+GTG последовательности оснований. В этом случае значение подгоночного параметра составляет  $\alpha' = 0.110 \frac{eV}{A}$ . Теперь, как и в случае цепи GATGGG,



миграция заряда несущественно отличается от случая рис. 3а. Однако, поскольку смысл параметра  $\alpha'$  это интенсивность взаимодействия заряда с парой оснований, то мы полагаем, что учет реальных параметров водородной связи ведёт к уточнению данной величины.

В целом более точный учет значений параметров водородной связи незначительно повлиял на динамику миграции заряда по последовательности оснований молекулы ДНК — изменились детали, но не характер миграции. Кроме того он позволил несущественно уточнить значение интенсивности взаимодействия заряда с парой оснований.

### **Список литературы:**

1. Якушевич Л.В. Нелинейная физика ДНК: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований М.: Ижевск, 2007, — 252 с.
2. Fialko N.S., Lakhno V.D. Nonlinear dynamics of excitations in DNA//Physics Letters A — 2000 — № 278 — p. 108—112.
3. Peyrard M. Nonlinear dynamics and statistical physics of DNA // Nonlinearity — 2004 — Vol. 17. — p. r1—r40.
4. Shirmovsky S.Eh., Boyda D.L. Study of DNA conducting properties: Reversible and irreversible evolution//Biophysical Chemistry — 2013 — Vol. 180—181 October/November — p. 95—101.

### 3.3. ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

#### ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ДОЗИРОВАНИЯ ТВЕРДОФАЗНЫХ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ РЕАГЕНТОВ

*Нелюбов Дмитрий Владимирович*  
*аспирант кафедры механики многофазных систем*  
*Тюменского государственного университета,*  
*г. Тюмень*  
*E-mail: Nelyubov\_DV@mail.ru*

#### POWER EFFICIENT SOLID OIL-FIELD REAGENTS DOSING METHOD

*Nelyubov Dmitry Vladimirovich*  
*polyphase systems mechanics department post-graduate student*  
*of the Tyumen state university,*  
*Tyumen*

#### АННОТАЦИЯ

Разработана методика и модернизирована схема дозирования твердофазных нефтепромысловых реагентов в нефтедобывающую скважину, позволяющая дозировать реагенты без постоянного контроля со стороны оператора, с применением тяжелых растворителей и в холодное время года.

#### ABSTRACT

In the paper described engineered method and upgraded set for dosing solid-phase oil-field reagents to the oil-producer, which allows to dose reagents without operator permanent control and also using high-boiling solvents.

**Ключевые слова:** ингибитор, асфальтосмолопарафиновые отложения (АСПО), дозирующая установка.

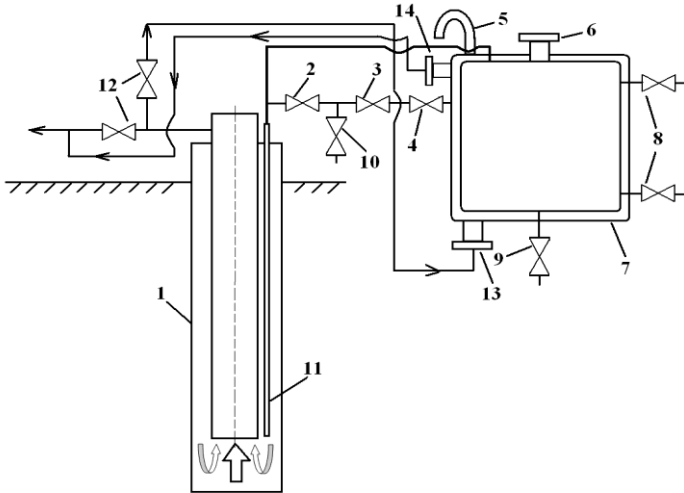
**Keywords:** inhibitor, asphalt-resin-paraffin sediments (ARP sediments), dosing set.

В последнее время большое распространение получили твердофазные нефтепромысловые реагенты, которые представляют собой композиции различных поверхностно-активных веществ. Они обладают высокой эффективностью при низком расходе за счет использования в их составе лишь активных веществ, непосредственно действующих молекулы углеводородных и других компонентов нефти [2, 3]. Чаще всего композиции данных реагентов обладают ещё и синергетическим эффектом, обусловленным образованием различных молекулярных комплексов [4, 5]. Однако и дозированная подача в нефтедобывающие скважины затрудняется их твердой товарной формой, что вынуждает производителей применять легкие растворители, существенно повышающие стоимость товарной продукции.

Для дозированной подачи таких реагентов в нефтедобывающую скважину была разработана методика и модернизирована схема установки, разработанная ранее в УфаНИПИнефть [1]. Эта установка была апробирована и успешно прошла полевые испытания на месторождениях ООО «РН-Юганскнефтегаз».

Рассмотрим принцип работы данной установки на примере дозирования с её помощью твердофазного ингибитора АСПО ПП-163/312 [2]. Дозирование осуществляется как с помощью электропривода, так и свободной подачей реагентов под атмосферным давлением. Конструкция установки проста, что позволяет наладить её сборку как на промышленном предприятии, так и кустарным способом. Оборудование для дозирования реагентов не требует постоянного контроля со стороны оператора, однако нуждается в обслуживании не реже 1 раза за 2 суток. На рисунке 1 представлена модернизированная схема установки по дозированию реагентов.

Композиционный ингибитор заранее измельчается до порошкообразного состояния и поставляется в мягкой герметичной упаковке по 10 кг. Для приготовления товарной формы необходимо растворить 10 кг ингибитора в 2 м<sup>3</sup> дегазированной и нагретой до 80 °С нефти, взятой после дожимной насосной станции (ДНС). Для нагрева рекомендуется использовать агрегат депарафинизации модернизированный (АДПМ). Затем раствор ингибитора закачивается в бак 7, работающий под атмосферным давлением, откуда самотеком поступает в канал 11, через дозирующий кран 3. В качестве канала 11 можно использовать, бронированный электрический кабель для погружных электронасосов. Необходимым узлом системы является тройник, он играет роль сепаратора, стравливая газ в атмосферу, не дав газу запереть капилляр и позволяя избежать выброса реагента.



**Рисунок 1. Схема установки для обработки скважины ингибитором АСПО: 1 — скважина, 2, 4, 12 — запорные краны, 3 — дозирующий кран, 5 — воздушник, 6 — патрубок для заливки реагента, 7 — бак для реагента, 8 — запорный кран для уровнемера, 9 — слив реагента, 10 — штуцер, 11 — канал для подачи реагента, 13 — штуцер для подачи теплоносителя, 14 — штуцер для вывода теплоносителя**

Принципиальной особенностью данной схемы, в отличие от прототипа, является наличие у бака 7 герметичного, теплоизолированного кожуха, через который циркулирует часть нефти выходящей из устья скважины. Благодаря пластовой температуре, нефть на устье, обычно не охлаждается ниже температуры (25—40 °С), благодаря этому становится возможным применение тяжелых растворителей для реагентов (нефть, смола пиролиза) и в условиях низких температур, что значительно снижает эксплуатационные затраты связанные с применением реагента и себестоимость самого ингибитора. Данная схема также может использоваться с дозировочным насосом для принудительного дозирования реагента в системе газлифтных скважин. Для них оптимальным вариантом будет применение дозировочных насосов типа НД2Э с электроприводом, или НД-3П с пневмоприводом.

Таким образом модернизированная схема установки и методика введения реагентов позволяет решить проблему применения твердофазных реагентов при добыче и транспорте нефти.

### **Список литературы:**

1. Мухаметшин В.Х. Новое устройство для дозированной подачи реагента на забой скважины // Нефтяное хозяйство. — № 12. — 2008. — С. 78—80.
2. Нелюбов Д.В. Новые ингибиторы АСПО бинарного действия / Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». — № 5. — 2012. — С. 389—396.
3. Патент РФ № 2480505 Состав ингибитора асфальтосмолопарафиновых отложений бинарного действия // Нелюбов Д.В., Агаев С.Г., Семихина Л.П. Заявл. 01.11.2011 — Бюл. № 1. — 27.04.2013. — 9 с.
4. Семихина Л.П., Москвина Е.Н., Кольчешкая И.В. Явление синергизма в смесях поверхностно-активных веществ // Вестник Тюменского государственного университета. — 2012. — № 5. — С. 85—91.
5. Семихина Л.П., Нелюбов Д.В. Индуктивный диэлектрический метод для разработки составов композиционных ингибиторов асфальтосмолопарафиновых отложений / Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». — № 1. — 2013. — С. 223—231.

## СЕКЦИЯ 4.

## БИОЛОГИЯ

### 4.1. БИОГЕОЦЕНОЛОГИЯ

#### СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФАУНЫ ОРИБАТИД В ЛУГОВЫХ БИОЦЕНОЗАХ ПОДТАЙГИ И СРЕДНЕЙ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

*Казанцев Павел Александрович*

*аспирант Тюменского государственного университета,  
г. Тюмень*

*E-mail: [KazantzevP@yandex.ru](mailto:KazantzevP@yandex.ru)*

*Алеева Виктория Николаевна*

*студент 4 курса Тюменского государственного университета,  
г. Тюмень*

*E-mail: [vikaaleeva@mail.ru](mailto:vikaaleeva@mail.ru)*

#### SEASONAL SPECIFIC OF FAUNA ORIBATID MITES OF THE MEADOW BIOCENOSSES SUBTAIGA AND MIDDLE FOREST-STEPPE WEST SIBERIA

*Kazantcev Pavel*

*graduate of the Tyumen State University,  
Tyumen*

*Aleeva Victoria*

*4th year student of the Tyumen State University,  
Tyumen*

## АННОТАЦИЯ

В статье приводятся новые данные исследования почвенной фауны в луговых биоценозах подтайги и средней лесостепи Западно-Сибирской равнины. Показаны подзональные и сезонные различия фауны орибатид по численности и видовому составу.

## ABSTRACT

The article presents new research data of soil fauna in the meadow biocenosis of subtaiga and middle forest-steppe of the West Siberian Plain. Showing subzonal and seasonal differences fauna of oribatid mites in number and species composition.

**Ключевые слова:** орибатиды; видовое богатство; численность.

**Keywords:** oribatid mites; species richness; numerosity.

Орибатиды — сапротрофная группа почвенных клещей, которая является важным компонентом большинства природных экосистем. В процессе жизнедеятельности, они существенно ускоряют микробное разложение растительных остатков, и, как следствие, весь круговорот органических веществ и почвообразовательные процессы в целом. Из-за своей широкой распространенности, малых размеров и большой численности эта группа клещей представляют удобный объект для изучения и использования в качестве биоиндикаторов состояния экосистем. Фауна орибатид юга Западно-Сибирской равнины анализируется в работах ряда авторов [2, с. 144; 3, с. 153]. При этом нужно отметить, что почвенные клещи луговых биоценозов рассматриваемого региона изучены сравнительно слабо. Цель данной работы — изучение сезонных особенностей видового состава и численности фауны орибатид в луговых биоценозах разных природных подзон в южной части Западно-Сибирской равнины.

Материал, использованный в настоящей статье был собран в течение 2012 года на двух опытных участках, заложенных на материковых суходольных разнотравно-злаковых лугах в южной части Тюменской области. Первый участок расположен в южной части таежной природной зоны, в подзоне подтайги Западно-Сибирской равнины [1, с. 330]. (у пос. Каскара, Тюменского административного района); второй участок находится в северной части степной зоны, в подзоне средней (типичной) лесостепи (у п. Казанка — Казанского района Тюменской области). Расстояние между участками составляет 250 км.

На обоих участках в течение года трижды: весной (в мае), летом (в июле) и осенью (в сентябре) отбирались образцы почвы для анализа

фауны оribатид. Образцы размером 5x5x15 см отбирались в 15 кратной повторности и впоследствии помещались в эклектор Берлезе-Тулльгрена для выгонки микроартропод [4, с. 20]. Всего за период исследования было отловлено и изучено 1214 экземпляров оribатид, относящихся к 23 видам, 18 родам и 11 семействам. Данные учетов приводятся в таблице 1.

**Таблица 1.**

**Список видов почвенных клещей, отмеченных на пробных площадях в разрезе природных подзон и сезонов года**

Вид	Подтайга			Лесостепь		
	1	2	3	1	2	3
<i>Achipteria coleoprata</i> Linnaeus, 1758)				++	++	++
<i>Ceratozetes mediocris</i> (Berlese, 1908)						+
<i>Ceratozetes sellnicki</i> (Rajski, 1958)	+			++	+	+++
<i>Latilamellobates incisellus</i> (Kramer, 1897)	+		+	+	+	++
<i>Trichoribates novus</i> (Sellnick, 1928)						++
<i>Punctoribates hexagonus</i> (Berlese, 1908)				++	+++	+++
<i>Punctoribates zachvatkini</i> (Shaldybina)						+
<i>Nothrus pratensis</i> (Sellnick, 1928)					+	
<i>Galumna obvia</i> (Berlese, 1915)	+++	+	++			
<i>Hydrozetes thienemanni</i> (Srtenzke, 1943)						++
<i>Microppia minus</i> (Paoli, 1952)				+	+	
<i>Oppiella nova</i> (Oudemans, 1902)	+++	+++	+++	+		
<i>Subiasella maculata</i> (Hammer, 1952)		+		+++	+++	+++
<i>Banksinoma lanceolata</i> Michael, 1885)	++	+	+	+		
<i>Liebstadia pannonica</i> Willmann, 1951)	+	+	+	+		
<i>Liebstadia similis</i> (Michael, 1888)	+	++	+++			
<i>Scheloribates latipes</i> (C.L. Koch, 1844)	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Scheloribates laevigatus</i> (C.L. Koch, 1836)	+	+	++			+
<i>Zygoribatula exilis</i> (Nicolet, 1855)						+
<i>Oribatula tibialis</i> (Nicolet, 1855)		+				
<i>Peloptulus denticuspidatus</i> (Bayartogtokh & Aoki, 1999)				++		+
<i>Tectocepheus minor</i> (Berlese, 1903)					+	
<i>Tectocepheus velatus</i> (Vanek, 1960)	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Всего видов	10	10	9	12	9	15

Примечание: 1 — весна, 2 — лето, 3 — осень;

«+» — единственный, «++» — массовый вид, «+++» — доминант

В целом луговые биоценозы подтайги отличаются меньшим видовым богатством оribатид; за весь период работ здесь было



отмечено 12 видов клещей, в то время как в лесостепи — 20 видов. При этом специфичными для подтаежных луговых биоценозов оказались всего 3 вида: *Galumna obvia*, *Oribatula tibialis* и *Liebstadia similis*; в лесостепи же отмечено 11 специфичных видов, не встречающихся в подтаежной подзоне. Общими для обеих природных подзон являются 9 видов клещей; из них 2 доминантных вида *Scheloribates latipes* и *Tectocepheus velatus* показали стабильно высокую численность в биоценозах на протяжении всех трех сезонов. На подтаежном участке практически отсутствовали сезонные изменения общего видового богатства орибатид, в то время как в лесостепи этот показатель снизился в июле и снова вырос с наступлением осени. Это может быть обусловлено более резкими колебаниями погодных условий в лесостепи, для которой характерным является жаркое и засушливое лето.

Анализ фаунистического сходства (по Серенсону-Чекановскому) между природными зонами показал, что уровень сходства между ними составляет 56 %. В то время, как внутри каждой из подзон сходство фаун в разных пробах в течение сезона намного выше. Так подтайга в целом демонстрирует более высокое сходство фаунистических комплексов клещей по сезонам года (86 %) по сравнению с лесостепью (61 %) (табл. 2). Наибольшее сходство фаун орибатид в луговых биоценозах подтайги отмечается весной и осенью; в лесостепи, напротив, сходство между этими сезонами является наименьшим.

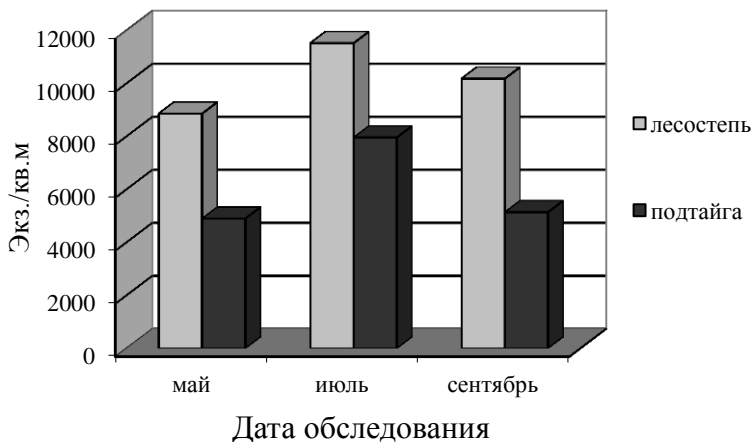
**Таблица 2.**

**Фаунистическое сходство комплексов орибатид  
разных природных подзон по сезонам года  
(по Серенсону-Чекановскому), %**

Сезон	Весна	Лето	Осень
Весна	–	76,2	51,9
Лето	80,0	–	58,3
Осень	94,7	84,2	–

*Примечание: вверху справа — данные по лесостепи; внизу слева — по подтайге*

Общая численность клещей на подтаежном участке на протяжении всего срока исследований была стабильно ниже, чем в лесостепи. Сезонная динамика численности в обоих случаях имеет форму параболы, то есть характеризуется относительно невысокими показателями весной, пиком численности в июле и последующим снижением к осени (рис. 1).



**Рисунок 1. Сезонная динамика численности клещей**

Проведенные исследования показали, что комплекс почвенных клещей луговых биоценозов лесостепи Западной Сибири отличается более высокими показателями общей численности и видового богатства, а также более значительными сезонными фаунистическими флуктуациями по сравнению с аналогичными экосистемами подтайги.

#### **Список литературы:**

1. Болховских Т.Е., Гашев С.Н. Зоогеографическое районирование Тюменской области // Ежегодник ТОКМ. — 2000. — С. 330—339.
2. Голосова Л.Д., Порядина Н.М., Лановенко С.П. Панцирные клещи некоторых биотопов южной подзоны тайги Тюменской области // Проблемы энтомологии и арахнологии. — 1999. — № 41. — С. 114—121.
3. Ломакин Д.Е., Толстикова А.В., Ситников П.С. К истории почвенно-энтомологических исследований в Тюменской области // Вестник ТюмГУ. — 2005. — № 3. — С. 153—167.
4. Субботина И.А. К вопросу о методике сбора оribатидных клещей // Ученые записки. Серия зоологии. — 1965. — Вып. 56. — С. 20—29.

## **4.2 БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

### **ПИЩЕВАЯ ЦЕННОСТЬ И КУЛИНАРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЯСНОЙ ПРОДУКЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИОСТИМУЛЯТОРА**

***Губер Наталья Борисовна***

*канд. с.-х. наук, доцент*

*ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет),*

*г. Челябинск*

*E-mail: [gubernb@ya.ru](mailto:gubernb@ya.ru)*

***Переходова Елена Андреевна***

*студент ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный  
университет» (национальный исследовательский университет),*

*г. Челябинск*

*E-mail: [pbio@ya.ru](mailto:pbio@ya.ru)*

## **NUTRITION FACTS AND CULINARY — TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF MEAT FROM THE USE OF BIOSTIMULYATORS**

***Natalya Guber***

*candidate of Agricultural Sciences, associate professor  
of National research The South Ural state university,  
Chelyabinsk*

***Helena Perehodova***

*student of National research The South Ural state university,  
Chelyabinsk*

## АННОТАЦИЯ

Изучено влияние биостимулятора на пищевую ценность и кулинарно-технологические свойства мясного сырья при выращивании бычков на мясо. За критерий пищевой ценности взят показатель, равный произведению показателя биологической ценности белков на показатель соотношения ценных и малоценных частей туши. Установлено положительное воздействие биостимулятора на показатели пищевой ценности мясного сырья.

## ABSTRACT

The influence of biostimulator on the nutritional value and culinary and technological properties of meat raw material for growing calves for meat. As a criterion of the nutritional value is taken index equal to the product of the biological value of protein in the ratio of low-value and parts of carcasses. The positive impact on the performance biostimulator nutritional value of raw meat.

**Ключевые слова:** пищевая ценность; кулинарно-технологические свойства; мясное сырье; биостимулятор.

**Keywords:** nutritional value; culinary and technological properties; raw meat; biodyne.

Государственная политика Российской Федерации в области здорового питания населения предусматривают мероприятия, обеспечивающие удовлетворение потребителей различных групп населения в здоровом питании, в том числе и мясными продуктами [4, с. 110], [7, с. 134], [8, с. 15].

В настоящее время проблема увеличения производства говядины и повышения ее пищевой ценности остается одной из актуальных в агропромышленном комплексе России [1, с. 672], [3, с. 34]. В соответствии с этим, кафедра прикладной биотехнологии Южно-Уральского государственного университета особое внимание уделяет вопросам эффективного и рационального использования мясного сырья для получения высококачественных и безопасных мясных продуктов [2, с. 44].

Одним из методов, позволяющих увеличить качество и количество мясной продукции без использования антибиотиков и ростостимулирующих гормональных добавок, является применение биологически активных веществ [5, с. 56], [6, с. 86].

В этой связи целью исследований было изучения влияния биостимулятора растительного происхождения на основе гуминовых

кислот «Гувитан-С» на пищевую ценность и кулинарно-технологические свойства мясной продукции.

Изучение влияния биостимулятора на пищевую ценность и кулинарно-технологические свойства мясного сырья проводили в условиях ОАО «Племенной завод «Россия» Челябинской области. Для этого было отобрано 30 голов бычков черно-пестрой породы в возрасте 3 месяца, из которых сформировали 2 группы по принципу аналогов. Первая группа была контрольной, второй дополнительно к основному рациону добавляли биостимулятор в количестве 40 мл на одну голову в сутки. Общая схема исследований представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1. Общая схема исследований**

По завершении эксперимента (достижение бычками 15-месячного возраста) за критерий оценки пищевой ценности мяса брали показатель пищевой ценности (ППЦ), равный произведению показателя биологической ценности белков (ПБЦ) и показателя соотношения ценных (съедобных) и малоценных (несъедобных) частей (таблица 1).

**Таблица 1.****Пищевая ценность мяса подопытных бычков**

Показатель	Группа	
	I	II
ССНЧ*	2,85	3,00
ПБЦ	1,60	1,62
ППЦ	4,56	4,86

*ССНЧ\** — соотношение съедобных и несъедобных частей

В связи с тем, что мякотная часть туш бычков II группы имела более высокий показатель соотношения съедобных и несъедобных частей и большую величину показателя биологической ценности, их туши характеризовались более высокой пищевой ценностью (4,86). Превосходство ППЦ туш бычков II группы, над аналогами I группы составило 6,58 %.

Изучение показателей, определяющих технологическую и кулинарную ценность мяса, показало, что наибольшей влагоудерживающей способностью и меньшей увариваемостью характеризовалась мускульная ткань бычков, получавших «Гувитан-С» (II группа). Поэтому их мышца характеризовалась более высоким кулинарно-технологическим показателем — КТП (таблица 2).

**Таблица 2.****Свойства длиннейшего мускула спины ( $X \pm S_x$ ,  $n=3$ )**

Показатель	Группа	
	I	II
Влагоудержание, %	58,8±0,46	60,4±0,28
Увариваемость, %	36,4±0,18	35,8±0,15
pH	5,77±0,03	5,82±0,06
КТП (кулинарно-технологический показатель)	1,62	1,68

Таким образом, использование биостимулятора растительного происхождения способствует повешению пищевой ценности мясной продукции и улучшению ее кулинарно-технологических свойств.

## Список литературы:

1. Губер Н.Б. Влияние биоактиваторов на интенсификацию производства продукции животного происхождения / Н.Б. Губер, В.В. Нагибина, И.М. Амерханов // Молодой ученый. — 2013. — № 4. — С. 672—675.
2. Губер Н.Б. Токсикологическая безопасность мясной продукции на фоне применения биостимулятора / Н.Б. Губер, О.В. Богатова, С.В. Стадникова // Качество продукции, технологий и образования: мат. VIII всеросс. научн.-практ. конф. с междунар. уч.. (21 апреля 2013 г). Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. — С. 44—47.
3. Зинина О.В. Технологические приемы модификации коллагенсодержащих субпродуктов О.В. Зинина, М.Б. Ребезов // Мясная индустрия. — 2012. — № 5. — С. 34—36.
4. Кузнецова Н.Б. Реализация государственной политики в области здорового питания в Челябинской области / Н.Б. Кузнецова // Современное состояние и перспективы развития пищевой промышленности и общественного питания: мат. V международной научн.-практ. конф., 21—22 октября 2011 г. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. — С. 110—112.
5. Кузнецова Н.Б. Мясная продуктивность и качество говядины бычков чёрно-пёстрой породы при использовании кормовой добавки «Гувитан-С» / Н.Б. Кузнецова, А.М. Монастырёв // Практик. СПб. — 2009. — № 1. — С. 56—57.
6. Монастырёв А.М. Повышение продуктивности скота черно-пестрой породы при использовании кормовой добавки «Гувитан-С»/А.М. Монастырёв, Н.Б. Кузнецова // Аграрный вестник Урала, — 2009. — № 4. — С. 86—88.
7. Ребезов М.Б. Использование коллагенового гидролизата в производстве мясного хлеба / М.Б. Ребезов, А.А. Лукин, Н.Л. Наумова, О.В. Зинина, С.Г. Пирожинский // Вестник Тихоокеанского государственного экономического университета. — 2011. — № 3. — С. 134—140.
8. Хайруллин М.Ф. О потребительских предпочтениях при выборе мясных продуктов // М.Ф. Хайруллин, М.Б. Ребезов, Н.Л. Наумова [и др.] // Мясная индустрия. — 2011. — № 12. — С. 15—17.

### 4.3. БОТАНИКА

#### АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ НАДЗЕМНЫХ ОРГАНОВ ZIZIPHORA CLINOPODIOIDES LAM. ИЗ КАЗАХСТАНА

*Ишмуратова Маргарита Юлаевна*

*канд. биол. наук, доцент кафедры фармацевтических дисциплин  
Карагандинского университета «Болашак»,  
Караганда  
E-mail: [margarita.ishmur@mail.ru](mailto:margarita.ishmur@mail.ru)*

*Сүлеймен Ерлан Мэлсулы*

*канд. хим. наук, директор института прикладной химии,  
доцент кафедры химии ЕНУ им. Л.Н. Гумилева,  
Караганда  
E-mail: [syerlan75@yandex.kz](mailto:syerlan75@yandex.kz)*

#### ANATOMICAL STRUCTURE OF THE AERIAL PARTS OF ZIZIPHORA CLINOPODIOIDES LAM. FROM KAZAKHSTAN

*Ishmuratova Margarita Yulaevna*

*candidate of biol. sciences , assistant professor of pharmaceutical sciences  
Karaganda University "Bolashak",  
Karaganda*

*Suleimen Yerlan Melsuly*

*candidate. of chem. science, phd, director of the Institute  
of applied chemistry, associate professor of chemistry department  
of L.N. Gumilev ENU,  
Karaganda*



## АННОТАЦИЯ

Для стандартизации и выявления строения на микроуровнях ценного растительного сырья *Ziziphora clinopodioides* Lam. (зизифора пахучковидная) проведено изучение его анатомического строения. Установлено, что особенностями строения препаратов являются простые и железистые волоски, форма и размещение эфирно-масляных железок и устьиц.

## ABSTRACT

In order to standardize and structure identification on microlevels of valuable plant material *Ziziphora clinopodioides* Lam. a study of its anatomy was conducted. It is found that the structural features of the products are simple and glandular hairs, shape and placement of the ether oil glands and stomata.

**Ключевые слова:** анатомическое строение, *Ziziphora clinopodioides* Lam.

**Keywords:** anatomical structure, *Ziziphora clinopodioides* Lam.

*Ziziphora clinopodioides* Lam. (зизифора пахучковидная, сем. Губоцветных) — многолетнее травянистое растение с многочисленными прямостоячими, простыми, реже ветвистыми стеблями [5]. Цветет продолжительный период до 2,5 месяцев.

Растение является лекарственным, экстракт и эфирное масло обладают антимикробным действием [1, 10, 12, 15, 17, 27, 28], в том числе и на микроорганизмы, выделенные и из мочеполового тракта [8], имеют высокую фумигантную активность [16], антигельминтное действие против *Anopheles stephensi* и *Culex pipiens* [18], антиоксидантное действие [6, 7, 25, 30], имеет положительный гастроэффект [20], обнаруженные в экстракте флаваноиды имеют вазодилаторную активность [24], а также эфирное масло и экстракты даже оказывают положительное влияние на биохимические показатели кур-несушек [21].

Ранее из *Z. clinopodioides* выделены гликозиды [9], олеаноловая и урсоловая кислоты [29], фенольные соединения и флаваноиды [22], изучен состав эфирного масла, основным компонентом которого является пулегон [3, 11, 13, 23, 27, 31] и 1,8-цинеол [19].

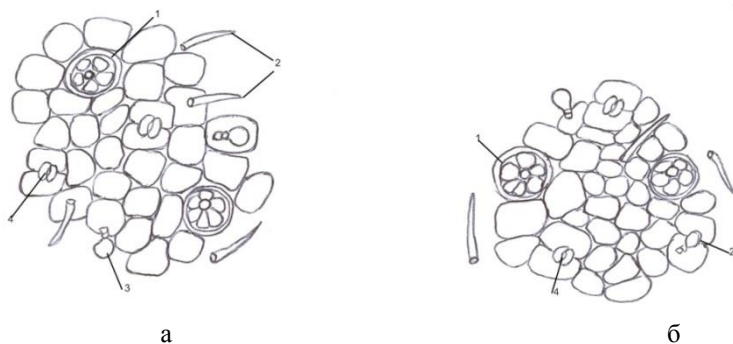
Ранее также было проведено определение анатомического строения растительного сырья *Z. clinopodioides*, произрастающего в Пакистане [14].

Для стандартизации и выявления строения на микроуровнях ценного растительного сырья (уточнения локализации эфирного масла

в надземных органах) *Z. clinopodioides*, произрастающего в Казахстане, мы провели изучение его анатомического строения.

Для анатомического исследования *Z. clinopodioides* использовали образцы растений, собранных в фазе цветения в горах Улытау. Воздушно-сухое сырье размягчали в смеси воды дистиллированная: глицерин: спирт 96 % (в соотношении 1:1:1). Готовили поверхностные препараты и срезы [2, 4].

**Результаты и их обсуждение.** Клетки эпидермиса листа округлой формы (рис. 1), на верхней стороне крупнее по размеру. Трихомы двух типов: железистые и простые. Железистый волосок из одноклеточной ножки и округлой головки. Эфирно-масляные железки крупные, округлой формы, состоят из 8 клеток. Устьица мелкие, диацитного типа, состоят из 2 клеток.

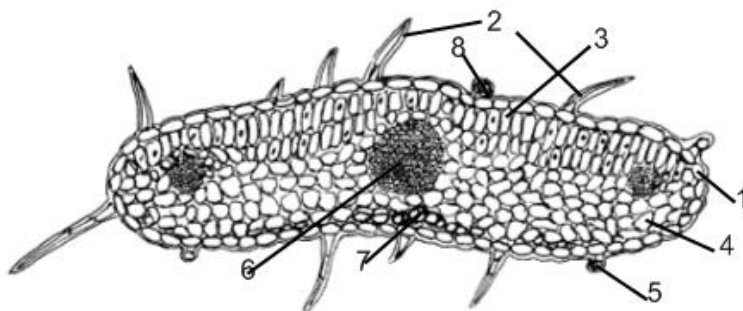


**Рисунок 1. Препарат листа зизифоры пахучковидной с поверхности: а — верхний эпидермис, б — нижний эпидермис; 1 — эфирно-масляная железка, 2 — простые волоски, 3 — железистые волоски, 4 — устьице**

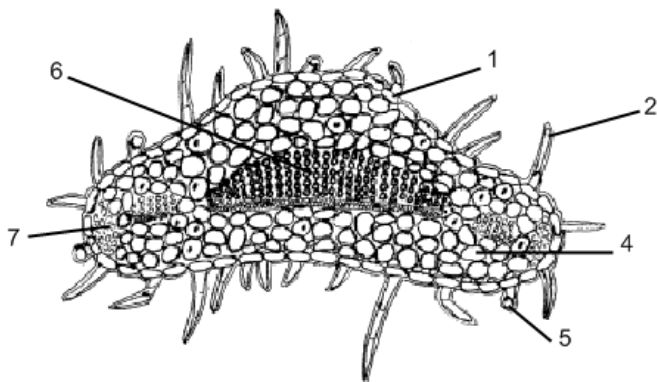
На поперечном срезе лист транскурентный, дорзо-вентрального строения. Основные клетки эпидермиса на поперечном сечении крупные с утолщенными стенками. Под верхним эпидермисом залегает 2-рядная столбчатый мезофил; под нижним — губчатый мезофилл (рис. 2). В отдельных клетках ткани листа отмечены капли эфирного масла. В центре — проводящие пучки главной и боковой жилки листа. Пучок закрытый, коллатеральный (флоэма — снизу, ксилема — сверху).

Черешок (рис. 3) дорзо-вентрального строения. По периферии локализуется 1-рядный эпидермис, под ним в углах и под пучком — уголкового колленхима. Проводящий пучок коллатеральный, закрытый,

вытянут по всей длине поперечного среза черешка. Пучок окружен рыхлой паренхимой. Ксилемные элементы мелкие, 3—5 рядные, флоэмные 2—3 рядные. В комплексе эпидермальных образований черешка отмечены железистые, простые трихомные волоски и эфирно-масличные железы.



**Рисунок 2. Поперечный средней части срез листа зизифоры пахучковидной. 1 — эпидермис, 2 — простой волосок, 3 — столбчатый мезофил, 4 — зубчатый мезофил, 5 — железистый волосок, 6 — проводящий пучок, 7 — колленхима, 8 — эфирно-масличная железа**



**Рисунок 3. Поперечный срез средней части черешка: 1 — эпидермис, 2 — простой волосок, 4 — мезофил, 5 — железистый волосок, 6 — ксилема, 7 — колленхима**

Таким образом, особенностями строения препаратов являются: простые и железистые волоски, форма и размещения эфирно-масличных железок и устьиц.

### Список литературы:

1. Водолазова С.В., Мяделец М.А., Карпова М.Р., Саранчина Ю.В. Антимикробная активность эфирных масел и водных извлечений из лекарственных растений Хакасии // Сибирский медицинский журнал (Томск). — 2011. — № 26(2) — С. 2.
2. Долгова А.А., Ладыгина Е.Я. Руководство к практическим занятиям по фармакогнозии. М.: Медицина, 1977. — 255 с.
3. Королук Е.А., Кёниг В., Ткачева А.В. Состав эфирного масла зизифоры пахучковидной (*Ziziphora clinopodioides* Lam.) из Алтайского края и Республики Алтай // Химия растительного сырья. — 2002. — № 1. — С. 49—52.
4. Прозина М.Н. Ботаническая микротехника. М.: Высшая школа, 1960. — 206 с.
5. Флора Казахстана. Т. 7. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1964. — 496 с.
6. Abbasian S., Karimi F., Moghaddam G., Soroush A., Moloudian H., Ahosseini M.S. Antioxidant Properties of Different Black Tea Samples and some Iranian Native Plants // Pharmacie Globale (IJCP). — 2013. — № 02 (03). — P. 1—5.
7. Amiri H. Composition and Antioxidant Activity of the Essential Oil and Methanolic Extract of *Ziziphora clinopodioides* Lam in Preflowering Stage // Journal of Kerman University of medical sciences. — 2009. — № 16(1). — P. 79—86.
8. Anzabi Y., Aghdam V.B., Makoui M.H., Anvarian M., Mousavinia M.N. Evaluation of Antibacterial Properties of Edible Oils and Extracts of A Native Plant, *Ziziphora Clinopodioides* (Mountains' Kakoty), on Bacteria Isolated From Urinary Tract Infections // Life Science Journal. — 2013. — № 10(4s). — P. 121—128.
9. Bahang Y.Y., Liu Y., Zou G., Aisa H.A. Chemical constituents of *Ziziphora clinopodioides* // Chemistry of Natural Compounds. — 2012. — № 48(4). — P. 681—682.
10. Beikmohammadi M. The Evaluation of Medicinal Properties of *Ziziphora clinopodioides* // World Applied Sciences Journal. — 2011. — № 12 (9). — P. 1635—1638.
11. Ebrahimi P., Mirarab-Razi A., Biabani A. Comparative evaluation of the essential oil terpenoids in the stem and leaf of *Ziziphora clinopodioides* in the regions of Almeh and Sojough of Golestan province // Iran apiteff. — 2012. — № 43. — P. 1—342.

12. Gursoy N., Sihoglu-Tepe A., Tepe B. Determination of In Vitro Antioxidative and Antimicrobial Properties and Total Phenolic Contents of *Ziziphora clinopodioides*, *Cyclotrichium niveum*, and *Mentha longifolia* ssp. *typhoides* var. *typhoides* // *Journal of Medicinal Food*. — 2009. — № 12(3). — P. 684—689.
13. Hamzeh. Influence of growth phase on the essential oil composition of *Ziziphora clinopodioides* Lam. // *Natural Product Research*. — 2009. — № 23(7). — P. 601—606.
14. Keshavarzi M., Jahandideh R., Bokae Z.N. Morphological and anatomical studies on *Ziziphora clinopodioides* Lam. (Labiatae). // *Pakistan journal of biological sciences: PJBS*. — 2008. — № 11(23). — P. 2599—2605.
15. Khodaparast H., Hosein M., Sangatash M., Masoumeh, Najafi K.R.H., Bagher M., Shahram B.T. Effect of Essential Oil and Extract of *Ziziphora clinopodioides* on Yoghurt Starter Culture Activity // *World Applied Sciences Journal*. — 2007. — № 2(3). — P. 194—197.
16. Lolestani F.A., Shayesteh N. Fumigant Toxicity of *Ziziphora clinopodioides* (Boiss.) (Lamiaceae) Against Adults and Eggs of *Callosobruchus maculatus* (Fab.) (Coleoptera: Bruchidae) // *Journal of Biological Sciences*. — 2009. — № 9 (1). — P. 92—95.
17. Mahboubi, Kamalinejad M., Ayatollahi A., Babaiean M. Antimicrobial effects of five Thyme-like species against four food-borne bacteria // *Research in Pharmaceutical Sciences*. — 2012. — № 7(5). — S. 777.
18. Mohammadreza V. Essential Oil Composition and Biological Activity of *Ziziphora clinopodioides* Lam. From Iran // *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*. — 2008. — № 2(1). — P. 69—71.
19. Morteza-Semnani K., Saeedi M., Eslami G. Essential Oil Composition of *Ziziphora clinopodioides* Lam. from Iran. // *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. — 2005. — № 8(2). — P. 208—212.
20. Niazmand S., Derakhshan M., Erfanian M., Ahmadpour, Hosaeni K. The Inhibitory Effect of *Ziziphora clinopodioides* Lam. on Gastric Acid Output at Basal, Vagotomized and Vagal Stimulated Conditions in Rat // *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*. — 2010. — № 13(2). — P. 36—39.
21. Nobakht A., Mansoub N.H., Nezhady M.A.M. Effect of *Melissa officinalis* L., *Tanacetum balsamita* L. and *Ziziphora clinopodioides* L. on Performance, Blood Biochemical and Immunity parameters of Laying Hens. // *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*. — 2012. — № 7(1). — P. 74—79.
22. Oganessian G.B., Galstyan A.M., Mnatsakanyan V.A., Paronikyan R.V., Ter-Zakharyan Yu.Z. Phenolic and flavonoid compounds of *Ziziphora clinopodioides*. // *Chemistry of Natural Compounds*. — 1991. — № 27(2). — P. 247.
23. Sardashti R., Valizadeh J., Adhami Y. Chemical composition of the essential oil from *Ziziphora clinopodioides* Lam. from Iran by means of gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) // *Journal of Horticulture and Forestry*. — 2012. — № 4(10). — P. 169—171.

24. Senejoux F., Demougeot C., Kerram P., Aisa H.A., Berthelot A., Bévalot F., Girard-Thernier C. Bioassay-guided isolation of vasorelaxant compounds from *Ziziphora clinopodioides* Lam. (Lamiaceae) // *Fitoterapia*. — 2012. — № 83. — P. 377—382.
25. Si-lei X., Pi-Hong Z., Qiao-Ling J., Hong-Li J., Xue-Hua W. Essential Oil Compositions and Antioxidant Activities of Two *Ziziphora* Species in Xinjiang // *食品科学※基础研究* (Food Science). — 2010. — № 31(07). — P. 154.
26. Sonboli A., Atri M., Shafiei S. Article Intraspecific Variability of the Essential Oil of *Ziziphora clinopodioides* ssp.rigida from Iran // *Chemistry & Biodiversity*. — 2010. — № 7(7). — P. 1784—1789.
27. Sonboli A., Mirjalili M.H., Hadian J., Ebrahimi S.N., Yousefzadi M. Antibacterial Activity and Composition of the Essential Oil of *Ziziphora clinopodioides* subsp. *Bungeana* (Juz.) Rech. f. from Iran // *Z. Naturforsch.* — 2006. — 61 c. — C. 677—680.
28. Tabatabaei-Anaraki M., Chalabian F, Masoudi S, Rustaiyan A. The chemical composition and in vitro antibacterial activities of the oil of *Ziziphora clinopodioides* Lam. from Iran // *Planta Med.* — 2007. — № 73. — P. 094.
29. Tian S., Shi Y., Yu Q., Upur H. Determination of oleanolic acid and ursolic acid contents in *Ziziphora clinopodioides* Lam. by HPLC method // *Pharmacognosy magazine*. — 2010. — № 6(22). — P. 116—119.
30. Tian S., Shi Y., Zhou X., Ge L., Upur H. Total polyphenolic (flavonoids) content and antioxidant capacity of different *Ziziphora clinopodioides* Lam. extracts // *Pharmacogn Mag.* — 2011. — № 7(25). — P. 65—68.
31. Zhou X., Yu Q., Gong H., Tian S. GC-MS analysis of *Ziziphora clinopodioides* essential oil from North Xinjiang, China // *Nat Prod Commun.* — 2012. — № 7(1). — P. 81—82.

**АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ  
THYMUS MARSCHALLIANUS WILLD.  
ИЗ КАЗАХСТАНА**

***Ишмуратова Маргарита Юлаевна***

*канд. биол. наук, доцент кафедры фармацевтических дисциплин  
Карагандинского университета «Болашак»,  
Караганда*

*E-mail: [margarita.ishmur@mail.ru](mailto:margarita.ishmur@mail.ru)*

***Сүлеймен Ерлан Мэлсұлы***

*канд. хим. наук, директор института прикладной химии,  
доцент кафедры химии ЕНУ им. Л.Н. Гумилева,  
Караганда*

*E-mail: [syerlan75@yandex.kz](mailto:syerlan75@yandex.kz)*

**ANATOMICAL STRUCTURE  
OF THE THYMUS MARSCHALLIANUS WILLD.  
FROM KAZAKHSTAN**

***Ishmuratova Margarita Yulaevna***

*candidate of biol. sciences , assistant professor of pharmaceutical sciences  
Karaganda University "Bolashak",  
Karaganda*

***Suleimen Yerlan Melsuly***

*candidate. of chem. science, phd, director of the institute of applied chemistry,  
associate professor of chemistry department of L.N. Gumilev ENU,  
Karaganda*

**АННОТАЦИЯ**

Для стандартизации и выявления строения на микроуровнях ценного растительного сырья *Thymus marschallianus* Willd. (тимьян Маршалла) проведено изучение его анатомического строения.

**ABSTRACT**

In order to standardize and structure identification on microlevels of valuable plant material of *Thymus marschallianus* Willd. a study of its anatomy was conducted.

**Ключевые слова:** анатомическое строение, *Thymus marschallianus* Willd.

**Keywords:** anatomical structure, *Thymus marschallianus* Willd.

*Thymus marschallianus* Willd. (*Lamiaceae*) (тимьян Маршалла) — распространенное в степной зоне Северного и Центрального Казахстана растение [5], эфирное масло которого представляет практический интерес как источник препаратов антибактериального [12] и антиоксидантного действия [6—7].

Ранее из данного вида растения были выделены фенольные гликозиды [13], розмариновая кислота [14] и эфирное масло, состав которого различен из различных регионов [8—11, 15]. Ранее нами методом хромато-масс-спектрометрии был также исследован состав CO<sub>2</sub>-экстрата [16].

Для стандартизации и выявления строения на микроуровнях ценного растительного сырья (уточнения локализации эфирного масла в надземных органах) *T. marschallianus*, произрастающего в Казахстане, мы провели изучение его анатомического строения.

**Материалы и методы.** Заготовку сырья *T. marschallianus* проводили во 2-ой декаде июня 2012 г. в фазе цветения на территории Спасских сопках Карагандинской области.

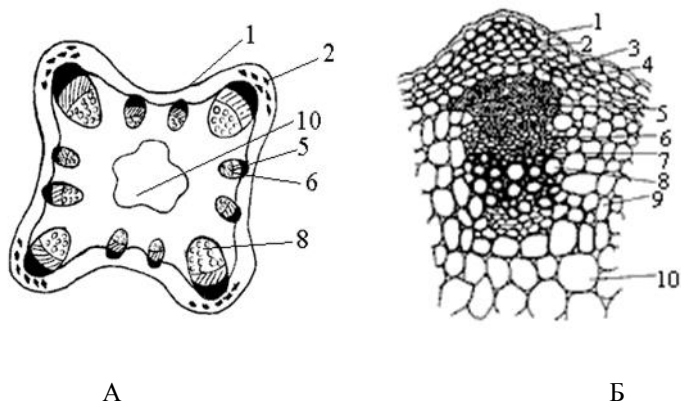
Исследовались надземные органы тимьяна (листья, стебли и соцветия). Воздушно-сухое сырье размачивали в горячей воде и размягчали в смеси глицерин-спирт-вода дистиллированная в соотношении 1:1:1 [2, 4], кипятили в 5 %-ном водном растворе гидроксида калия. Изготавливали поверхностные препараты и срезы вручную. Рисунки выполняли при помощи аппарата РА-4М. При описании анатомического строения использовали принципы, изложенные в трудах В.Н. Вехова, Л.И. Лотовой [1, 3].

Внешний вид. *T. marschallianus* — полукустарничек с почти неразвитыми стволками и приподнимающимися, реже прямостоячими деревянистыми ветвями. Годичные побеги бесплодные, цветonoсные ветви большей частью прямостоячие 12—35 см высотой, под соцветиями опушены отстоящими волосками. Листья сидячие, продолговато-эллиптические, 12,5—30 мм длиной и 2,5—8 мм шириной, с клиновидным основанием и несколько заостренной верхушкой, зеленые, тонкие, у основания с редкими ресничками, по поверхности шероховатые, боковые жилки не ясные. Соцветия удлинённые, 4—20 см длиной, с отодвинутыми 2—7 нижними мутовками, верхние сближенные, иногда почти головчатые. Цветоножки волосистые, чашечка колокольчатая, 2—3 мм, при плодах



крупнее — до 3,5 м. Венчик бледно-фиолетовый, с короткой трубкой, ворончатый, около 5 мм длиной.

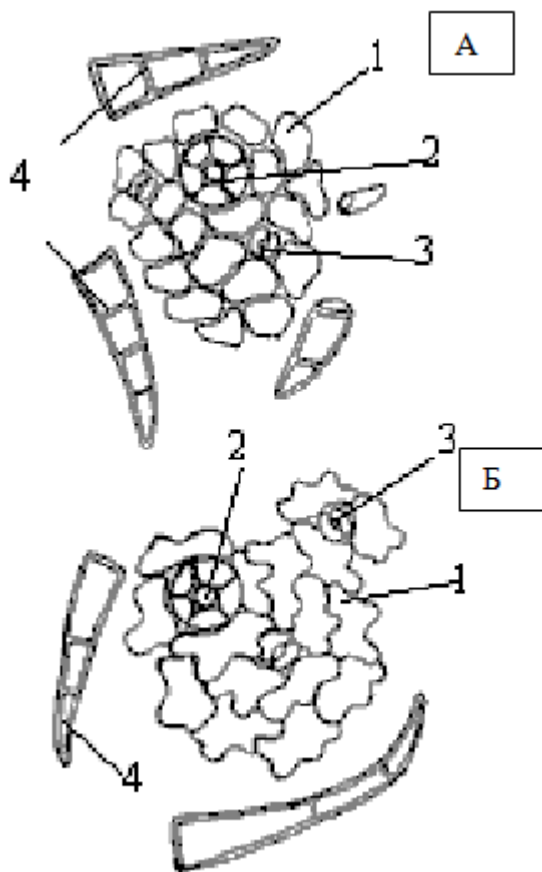
**Микроскопия.** Стебель на поперечном срезе 4-гранный. Эпидерма покрыта толстым слоем кутикулы (рис. 1). Под эпидермой в ребрах залегают участки 2—3-слойной уголковой колленхимы, между углами располагается мелкоклеточная хлоренхима.



**Рисунок 1 — Схема поперечного среза стебля *T. Marshallianus*:**  
**А — общий вид, Б — фрагмент, 1 — эпидермис, 2 — колленхима,**  
**3 — эндодерма, 4 — хлоренхима, 5 — склеренхима, 6 — флоэма,**  
**7 — камбий, 8 — ксилема, 9 — паренхима,**  
**10 — сердцевинная паренхима**

Эндодерма хорошо выражена, клетки ее имеют разные размеры. Проводящая система представлена открытыми коллатеральными пучками разных размеров. Иногда такие пучки заходят в ребра растения. Над каждым пучков располагается склеренхимная обкладка, состоящая из толстостенных одревесневших клеток. Камбий выражен только в пучках, флоэма состоит из ситовидных трубок с клетками-спутниками и паренхимы. Центральную часть стебля занимает сердцевинная паренхима.

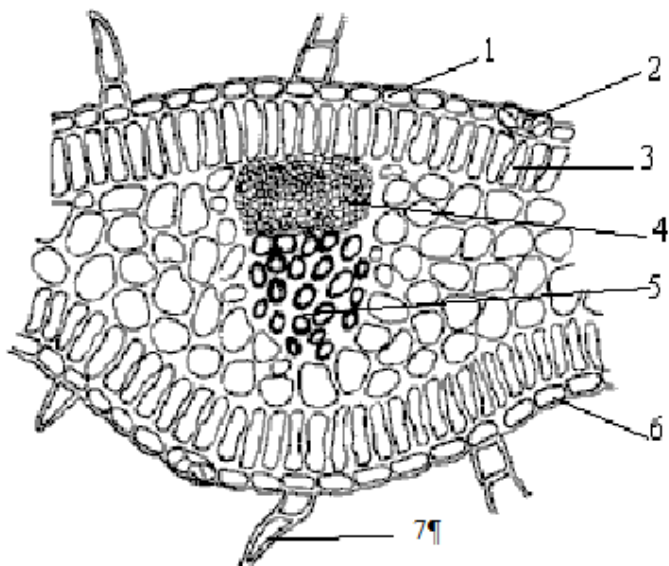
Клетки верхней и нижней эпидермы листа разного размера с толстыми стенками и покрыты тонким слоем кутикулы (рис. 2).



**Рисунок 2. Верхняя (А) и нижняя (Б) эпидермы листа *T. Marshallianus*: 1 — основные клетки эпидермы, 2 — эфирно-масличная железка, 3 — устьице, 4 — трихомы**

Основные клетки верхней эпидермы мельче и имеют менее извилистые стенки, чем клетки нижней эпидермы. Устьичный аппарат аномоцитного типа. На обеих сторонах листа располагаются крупные 8-клеточные эфирно-масличные железки округлой формы и многочисленные одноклеточные и многоклеточные однорядные трихомы.

При исследовании поперечного среза листа можно отметить, что проводящая система главной жилки листочка представлена одним коллатеральным закрытым пучком. Мезофил дорзовентрального строения, состоит из одного слоя палисадной паренхимы, которая залегает под верхним и нижним эпидермисами, и нескольких слоев губчатой паренхимы (рис. 3).



**Рисунок 3. Поперечный срез листа *T. marschallianus* через главную жилку: 1 — верхний эпидермис, 2 — эфирно-масличная железа, 3 — палисадная паренхима, 4 — флоэмы, 5 — ксилема, 6 — нижний эпидермис, 7 — трихома**

Таким образом, в результате анатомического исследования стебля и листа *T. marschallianus* было выявлено, что стебель ребристый, проводящая система пучкового типа. Мезофил листа дорзовентрального строения. Устьичный аппарат аномоцитного типа. На эпидерме стебля, листа встречаются одно- и многоклеточные одно-рядные трихомы и крупные 8-клеточные эфирно-масличные железы.

В качестве диагностических признаков сырья можно использовать строение, форму основных клеток эпидермы листа, эфирно-масличных железок и трихом.

## Список литературы:

1. Вехов В.Н., Лотова Л.И., Филин В.Р. Практикум по анатомии и морфологии высших растений. М.: МГУ, 1980. — 560 с.
2. Долгова А.А., Ладыгина Е.Я. Руководство к практическим занятиям по фармакогнозии. М.: Медицина, 1977. — 255 с.
3. Лотова Л.И. Ботаника: Морфология и анатомия высших растений. М.: КомКнига, 2007. — 512 с.
4. Прозина М.Н. Ботаническая микротехника. М.: Высшая школа, 1960. — 206 с.
5. Флора Казахстана. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, — 1963. — Т. 7. — С. 447—448.
6. Budincevic M., Vrbaski Z., Turkulov J., Dimic E. Antioxidant activity of *Oenothera biennis* L. // *Fett Wissenschaft Technologie*. — 1995. — V. 97, — № 7/8. — P. 277—280.
7. Budincevic M., Vrbaski Z., Turkulov J., Dimic E. Antioxidative activity of extracts of plants on feed fats // *Fett Wissenschaft Technologie*. — 1995. — V. 97, — № 12. — P. 461—466.
8. Dembitskii A.D., Yurina R.A., Krotova G.I. Composition of *Thymus marschallianus* essential oil // *Chemistry of Natural Compounds*. — 1985. — № 4. — P. 477—481.
9. Gaal B. The essential oils and oil content of native Hungarian thyme // *Magyar Gyogyszeresztudomanyi Tarsasag Ertesitoje*. — 1926. — V. 2. — P. 217—247.
10. Jia H., Ji Q., Ai L., Zhang P., Zhu G., Wang X. Analysis of volatile oil of *Thymus marschallianus* Willd from Xinjiang by Gas Chromatography-Mass Spectrometry // *Zhongguo Tiaoweipin*. — 2008. — № 6. — P. 60—63.
11. Kasumov F.Yu. Component compositions of the essential oils of some species of the Genus *Thymus* // *Chemistry of Natural Compounds*. — 1987. — № 5. — P. 637—638.
12. Oprean L., Marculescu A., Cristea V., Gaspar E. The antibacterial activity of the volatile oils extracted from medicinal plants // *Acta Alimentaria*. — 2007. — V. 36, — № 3. — P. 303—309.
13. Simonyan A.V. Flavonol glycosides of some species of the genus *Thymus* // *Chemistry of Natural Compounds*. — 1972. — № 6. — P. 783.
14. Simonyan A.V., Litvinenko V.I. Rosmarinic acid in representatives of the *Thymus* genus // *Chemistry of Natural Compounds*. — 1972. — № 6. — P. 776.
15. Spiridonova S.I. Essential oil of *Thymus marschallianus* Willd // *Zhurnal Obshchei Khimii*. — 1936. — V. 6. — P. 1510—1513.
16. Suleimenov E.M., Machmudah S., Ishmuratova M.Yu., Sasaki M., Goto M. Investigation of Kazakhstani flora. I. GC/MS analysis of *Thymus marschallianus* Willd essential oil obtained by supercritical CO<sub>2</sub> extraction // *Химия растительного сырья*. — 2010. — № 1. — С. 161—163.

**TRICHORMUS AZOLLAE STRASBURGER  
J. KOM. ET K. ANAGN. (NOSTOCACEAE) —  
НОВЫЙ ВИД ДЛЯ АЛЬГОФЛОРЫ КAVKAZA**

***Ибрагимов Алияр Шахмардан оглы***

*д-р биол. наук, проф., руководитель отдела «Систематика растений»  
Института Биоресурсов Нахчыванского Отделения  
Национальной Академии Наук Азербайджана,  
г. Нахчыван*

*E-mail: [aliyaribragimov@mail.ru](mailto:aliyaribragimov@mail.ru)*

***Набиева Фатмаханум Халид кызы***

*канд. с.-хоз. наук, доц., ведущий научный сотрудник  
отдела «Систематика растений» Института Биоресурсов  
Нахчыванского Отделения Национальной Академии Наук Азербайджана,  
г. Нахчыван*

**TRICHORMUS AZOLLAE STRASBURGER  
J. KOM. ET K. ANAGN. (NOSTOCACEAE)  
A NEW SPECIES FOR THE FLORA OF CAUCASUS**

***Aliyar Shahmardan Ibrahimov***

*doctor of Biological Sciences The head of department,  
Nakhchivan Section of the National Academy of sciences of Azerbaijan,  
Nakhchivan Bioresources Institute  
Nakhchivan*

***Fatmakhanum Khalid Nabiyeva***

*candidate of agricultural sciences Plant systematic department,  
leader scientist, Nakhchivan Section of the National Academy of sciences  
of Azerbaijan, Nakhchivan Bioresources Institute Azerbaijan,  
Nakhchivan*

**АННОТАЦИЯ**

Целью проведенных исследований является изучение обще-принятым ботаническими и геоботаническими методами полезных растений Азербайджана. Во время Международной экспедиции 2004—2006 гг. был обнаружен водный папоротник *Azolla caroliniana*

*Willd.*, являющийся новым для флоры Азербайджана и Кавказа вообще. В 2010—2011 гг. выявлено еще несколько новых местонахождений данного вида на территории Кура-Араксинской низменности. Впервые для флоры Азербайджана и Кавказа выявлен также вид сине-зеленой водоросли *Trichormus azollae* Strasburger J. Kom. et K. Anagno (*Anabaena azollae* Strasburg.), относящихся к роду *Trichormus* и сем. *Nostocaceae*, живущих в симбиозе с азоллой каролинской. Изучено распространение, биоэкологические и фитоценологические особенности вида.

#### ABSTRACT

The aim of the research is the common and botanical geobotanical methods study of useful plants of Azerbaijan. Of 2004—2006. attended the International expedition, which was revealed as a result of the water fern *Azolla caroliniana* Willd., being new to the flora of Azerbaijan and the Caucasus. In 2010—2011 revealed several new sites of this type in the Kur-Araz lowland, for the first time for the flora of Azerbaijan and the Caucasus identified as blue-green algae species *Trichormus azollae* Strasburger J. Kom. et K. Anagno. (*Anabaena azollae* Strasburg.) belonging to the genus *Trichormus* and the fam. *Nostocaceae*, living in symbiosis with *Azolla caroliniana*. Studied the distribution of bioecological and phytocenological characteristics species.

**Ключевые слова:** новые местонахождения, *Azolla caroliniana*, симбиоз, *Trichormus azollae*, *Nostocaceae*.

**Key words:** new location, *Azolla caroliniana*, symbiosis, *Trichormus azollae*, *Nostocaceae*.

Территория Кура-Араксинской низменности (КАН) составляет 2,2 млн. га (8,641 тыс./га). Территория является областью широкого развития орошаемых массивов, сочетающихся с пространствами полупустынь и сухих степей. Ее окружают предгорья Большого и Малого Кавказа с растительностью степей и фрагментами аридных лесов. Во флоре Кура-Араксинской низменности имеются 1570 видов высших споровых, голосеменных и сосудистых растений, относящихся к 140 семействам и 680 родам. Установлено, что из этого количества более 265 видов являются редкими, исчезающими и сокращающимися. Водно-болотная растительность района исследования представлена 65 семействами, 79 родами и около 300 видами (20 %). При классификации выявлено 7 классов формации, 13 групп формации, 6 подгрупп формации и 82 формаций [11, с. 55—58; 12, с. 48].

Во время исследования флоры и растительности Азербайджана, в Международной экспедиции 2004—2006 гг. на территории Астаранского, Ленкоранского, Лерикского, Сиязаньского и Джалилабадского районов был обнаружен неизвестный вид растения. При определении вид оказался *Azolla caroliniana* Willd., относящийся к роду *Azolla* Lam. и сем. *Azollaceae* Wettst. Эти таксоны являются новыми для флоры Кавказа [2, с. 90—94; 3, с. 967—968; 4, с. 38—450]. А в 2011—2012 гг. выявлен ряд новых местонахождений *Azolla caroliniana*. Вид собран в окрестностях Сальянского, Масаллинского, Биласуварского и Нефтчалинского районов, расположенных на территории Кура-Араксинской низменности.

Из литературных данных стало ясно, что *Azolla caroliniana* находится в симбиозе с сине-зеленой водорослью *Trichormus azollae* из семейства *Nostocaceae* Strasburger — Ностоковые [5, с. 313—349; 6, 10, с. 251—254; 14, с. 247—345; 15, с. 514; 16, с. 891]. Уточнено, что эти таксоны - находки для альгофлоры Азербайджана и Кавказа. Она раньше по систематическому отношению была отнесена к роду *Anabaena* Strasburger: Надцарство: *Procaryota*; Царство: *Bacteria*; Тип: *Cyanobacteria*; Отряд: *Nostocales*; Семейство: *Nostocaceae*; Род: *Anabaena*; Вид: *Anabaena azollae*. Одноко в 1989 г. *Anabaena azollae* отнесен к роду *Trichormus* (Palfs ex Born. et Flah.) Kom. et Anagn [14, 15]. Надцарство: *Procaryota*; Царство: *Bacteria*; Тип: *Cyanobacteria*; Отряд: *Nostocales*; Семейство: *Nostocaceae*; Род: *Trichormus*; Вид: *Trichormus azollae*. К роду отнесены нижеуказанные виды: *Trichormus minor* V.K. Laloraya et A.K. Mitra J. Kom. et K. Anagn. *T. thermalis*, *T. varuabilus*, *T. fertilissimus* C.B. Rao J. Kom. K. Anagn. и *T. azollae* Strasburger J. Kom. et Anagn.

После этого старались по возможности изучить образ жизни ее в природе, условия мест произрастания, морфобиологические, фитоценологические особенности и полезные свойства. Результаты проведенных исследований показали, что *Trichormus azollae* бурно развивается в водоемах, прудах, в стоячих, медленно текущих пресных водах, в прибрежных водоемах каспия, в оросительных каналах, болотистых местах и в болотах. Вблизи города Сальян, нами зарегистрированы характерные растительные группировки *Trichormus azollae* с *Salvinia natans* (L.) All. с проективным покрытием 85—90 %. Здесь встречаются другие виды водно-болотной и прибрежной растительности: *Nasturtium officinale* R.Br., *Rorippa amphibia* (L.) Bess., *Typha latifolia* L., *Sparganium emersum* Rehm., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Ceratophyllum demersum* L., *Ranunculus polyphyllus* Waldst. et Kit. ex Willd., *Persicaria hydropiper* (L.) Spach,

*P. amphibia* (L.) S.F. Gray, *Butomus umbellatus* L., *Batrachium trichophyllum* (Chaix) Bosch, *Eleocharis meridionalis* Zinserl., *Potamogeton crispus* L., *P. pectinatus* L. и др. А в оросительном канале около Биласувар шириной более 7 м *Azolla caroliniana* Willd. со своим симбиотическим партнером *Trichormus azollae*, которые, как сплошным покрывалом, покрывают поверхность канала так, что воды совсем невидны. Здесь толщина азоллового покрывала достигает 6—8 см.

*Trichormus azollae* обитает эпифитно в воздухоносных полостях мелкого водного папоротника *Azolla caroliniana* на нижней стороне листьев. Строение листа азоллы указывает на высокую специализацию. Каждый лист состоит из двух лопастей, или сегментов. Верхний сегмент, выступающий над водой, зеленый, состоит из нескольких слоев клеток в толщину, с устьицами на верхних и нижних сторонах. Нижний сегмент погружен в воду и служит для высасывания воды. На некоторых нижних сегментах развиваются 2, реже 4 сорусы. Среди папоротников имеются три семейства, у которых разноспоровость достигла полного развития: марсилеевые (*Marsileaceae*), сальвиниевые (*Salviniaceae*) и азолловые (*Azollaceae*). Биологические преимущества, достигнутые в результате разноспоровости, важны в пограничных или меняющихся условиях существования. *Azolla caroliniana*, содержащая сине-зеленую водоросль, способна существовать в условиях высыхающих время от времени болот и прудов. Чередующиеся дожди и оброзование временных водоемов дает возможность быстро завершить весь репродуктивный цикл. *Azolla caroliniana* содержащая, сине-зеленую водоросль, интенсивно размножается, в течение короткого времени покрывает поверхность воды, подавляя рост и развитие других растений в оросительных каналах и в прудах [10]. В странах, где она распространена, используется как популярное аквариумное растение. В аквариуме азолла хорошо растет и размножается при интенсивном освещении продолжительностью не менее 12 ч. [1]. Азоллу также можно использовать как естественное затенение или укрытие для молоди живородок. Растение можно размножать и с помощью спор. Необходимо отметить, что в устьицах плавающих листьев азоллы живут сине-зеленые водоросли, связывающие азот воздуха. Поэтому в некоторых странах это растение высаживают на рисовые поля для удобрения почвы.

Ареал распространения *Azolla caroliniana* — Северная, Центральная и Южная Америка, она акклиматизирована в Европе, распространена в двух ареалах в Азии. Она известна на Украине,



в Европе и Северной Америке. Характерной особенностью азоллы является симбиоз этого растения с сине-зеленой водорослью *Trichormus azollae* из семейства ностоковые — *Nostocaceae*. У верхней доли имеется направленная вниз полость, в которой синяя водоросль *Trichormus azollae* ведет симбиотическое сосуществование с *Azolla*. Нижняя доля погружена в воду, тонкая и бесцветная. Скопления спор находится на нижних лопастях старых растений. Скопление микроспор с 8—40 шаровидными микроспорангиями на тонких ножках, содержит множество спор, в свою очередь объединяющихся в 3-6 массы. Массулы снабжены расположенными поперечно, цепляющимися выростами, или глохидиями, которые служат для фиксации положения растения. Макроспорангий состоит только из одной макроспоры. Число хромосом  $2n = 48$ . *Trichormus azollae* оккупирует полость азоллы, находящуюся на брюшной стороне верхнего воздушного сегмента, недалеко от его основания. Оба партнера симбиоза получают выгоду от союза друг с другом. Так, водоросль обретает в этом содружестве физическую и химическую защиту, постоянное минеральное питание. А водный папоротник *Azolla caroliniana*, содержащий водоросль, фиксирует атмосферный азот. *Trichormus azollae* в этом процессе является агентом данной фиксации. Живущие в симбиозе с *Azolla* синие водоросли *Trichormus azollae* в состоянии связывать атмосферный азот. Благодаря этому качеству *Azolla* используется как удобрение на рисовых полях. К тому же водяные папоротники обладают большой калорийностью и поэтому служат кормом для крупного рогатого скота и рыбы. В некоторых регионах *Azolla* высаживают для борьбы с комарами и москитами. В Индии водяные папоротники едят в поджаренном виде, а в Африке иногда они входят в состав мыла. В Новой Зеландии *Azolla* используется как лечебное средство от ангины [10].

Цианобактерии тоже могут быть фиксирующими азот партнерами в симбиозе с высшими растениями. *Azolla* растет на поверхности затопленных рисовых полей и может при надлежащей агротехнике полностью удовлетворить потребность риса в азоте. Накопление азота в почве в результате симбиоза *Trichormus* с *Azolla* составляет около 300 кг/га в год. По таксономическим группам *Trichormus azollae* относится к отделам (тип) сине-зеленой водоросли — *Суанопhycea*, класс Гормогониевые — *Horvogniphyceae*, Гормогониевы — *Horvogniphyceae*, порядок ностоковые — *Nostocales*, подпорядок симметричные — *Symmetrineae*, сем.

Ностоковые — *Nostocaceae*, род *Trichormus* и вид *Trichormus azollae* [5, с. 313—349].

В результате систематического исследования и поиска *Azolla caroliniana* выявлено новые местонахождения в Кура-Араксинской низменности, на территории Масаллынского, Биласуварского, Сальянского, Нетчалинского и др. районов. Нами выявлены для флоры Кавказа новые таксоны: Вид: *Azolla caroliniana* Willd., *Trichormus azollae* Strasburger J. Kom. et K. Anagno., Род: *Azolla* Lam., *Trichormus* (Palfs ex Born. et Flah.) Kom. et Anagno., Семейства: *Azollaceae* Wettst., *Nostocaceae* Dumort. Кроме указанных таксонов, для растительности Кавказа и Азербайджана в частности установлен ряд высших таксономических единиц: Формация — *Azolleta*, Ассоциации: *Azolletum caroliniana aqui-herbosum*; *Azolletum caroliniana salviniosum*; *Azolletum salvinietum aqui-herbosum*; Отдел-Тип Сине-зеленой водоросли — *Cyanophyceae*; класс Гормогониевые — *Horvogniphyceae*; Порядок Ностоковые — *Nostocales*; Подпорядок симметричные — *Symmetrineae*. Все таксоны и их авторы уточнены по С.К. Черепанову и Конспекту флоры Кавказа [13, с. 7—961; 7, с. 55—389]. Гербарные образцы *Azolla caroliniana* в симбиозе с *Trichormus azollae* хранятся в гербарии Института Биоресурсов Нахчыванского Отделения НАН Азербайджана, Института Генетических Ресурсов Национальной АН Азербайджанской Республики, в Институте Ботаники (БАК) и в гербарии Ботанического Института им. В. Л. Комарова РАН (LE).

### Список литературы:

1. Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР, 2. Сине-зеленые водоросли. М.; Сов. Наука, 1953. — 652 с.
2. Ибрагимов А.Ш., Набиева Ф.Х. *Azollaceae* Wettst. — Новое семейство для Кавказа и Азербайджана // Доклады НАНА.-Том LXI, — 2005. — № 2. — С. 90—947.
3. Ибрагимов А.Ш. О новом семействе (*Azollaceae*) для флоры Азербайджана и Кавказа // Ботанический журнал. СПб., — 2006. — № 6. — С. 967—968.
4. Касумов А.Г. Экология планктонов Каспийского моря. Баку: Адилоглу, 2004. — 550 с.
5. Комаренко Л.Е., Васильева И.И. Пресноводные диатомовые и сине-зеленые водоросли водоемов Якутии. М., 1975. — 423 с.
6. Комина О.В. Азотфиксирующая ассоциация *Azolla* — *Anabaena azollae* // Успехи микробиологии. Дерепрессированные по нитрогеназе мутанты цианобактерии *Anabaena azollae*. Микробиология. 1990.

7. Конспект флоры Кавказа. Спб.: Изд. Санкт-Петербургского университета, — Т. 1. — 2003. — 201 с.
8. Конспект флоры Кавказа. Спб.: Изд. Санкт-Петербургского университета. — Т. 2. — 2006. — 500 с.
9. Конспект флоры Кавказа. Спб.: Изд. Санкт-Петербургского университета. — Т. 3 (1). — 2008. — 398 с.
10. Махлин М.Д., Сулова Т.Д. Семейство Азолловые (Azollaceae) // Жизнь растений. – М., 1978. - С. 251-254.
11. Набиева Ф.Х. Флора и опустынивания аридных территорий (Кура-Араксинская и Приараксинской низменности). Нахчыван: Туси, 2010. — 240 с.
12. Набиева Ф.Х., Ибрагимов А.Ш. Деградация экосистемы полупустынь и пустынь. Нахчыван: Туси, 2011. — 134 с.
13. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: «Мир и семья-95», 1995. — 990 с.
14. Komarek J., Anagnostidis K. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 4 Nostocales II Arch. Hydrobiol. / Suppl., Algological Studies. — 1989. — V. 56. — P. 247—345.
15. Prescott G.W. Algae of the Western Great Lakes. Wm.C. Brown Co. Dubuque, Iowa, 1951. — p. 514.
16. Rabenhorst's L. Kryptogamen-Flora Cyanophyceae (Geitler, L.). Johnson Reprint Corp. New York, 1932. — p. 891.

#### 4.4. МИКРОБИОЛОГИЯ И ВИРУСОЛОГИЯ

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ФАГОВОЙ ТЕРАПИИ В КИШЕЧНИКЕ МЫШИ

***Зимин Андрей Антонович***

*канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории  
молекулярной микробиологии,  
Институт биохимии и физиологии микроорганизмов  
им. Г.К. Скрыбина РАН,  
г. Пуццино  
E-mail: [zimmin@ibpm.pushchino.ru](mailto:zimmin@ibpm.pushchino.ru)*

***Васильева Елена Леонидовна***

*стажер лаборатории молекулярной микробиологии,  
Институт биохимии и физиологии микроорганизмов  
им. Г.К. Скрыбина РАН, г. Пуццино*

***Панченко Наталья Александровна***

*стажер лаборатории биологических испытаний,  
Филиал Института биоорганической химии  
им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН,  
г. Пуццино*

***Дьяченко Игорь Александрович***

*канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории биологических  
испытаний, Филиал Института биоорганической химии  
им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН,  
г. Пуццино*

***Мурашев Аркадий Николаевич***

*д-р биол. наук, заведующий лабораторией биологических испытаний,  
Филиал Института биоорганической химии  
им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН,  
г. Пуццино*

## **PHAGE THERAPY EXPERIMENTAL MODEL IN THE MOUSE INTESTINE**

**Andrei Zimin**

*ph.D., senior researcher of the Laboratory of Molecular Microbiology,  
G.K. Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology  
of Microorganisms, Russian Academy of Sciences,  
Pushchino*

**Elena Vasilyeva**

*trainee of the Laboratory of Molecular Microbiology,  
G.K. Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology  
of Microorganisms, Russian Academy of Sciences,  
Pushchino*

**Natalia Panchenko**

*trainee of the Laboratory of Biological tests, t  
he Branch of the M.M. Shemyakin and Yu. A. Ovchinnikov Institute  
of Bioorganic Chemistry,  
Pushchino*

**Igor Dyachenko**

*Ph.D., researcher of the Laboratory of Biological tests,  
the Branch of the M.M. Shemyakin and Yu.A. Ovchinnikov Institute  
of Bioorganic Chemistry, Russian Academy of Sciences,  
Pushchino*

**Arkady Murashev**

*Doctor of Biological Sciences, head of the Laboratory of Biological tests,  
the Branch of the M.M. Shemyakin and Yu A Ovchinnikov Institute  
of Bioorganic Chemistry, Russian Academy of Sciences,  
Pushchino*

### **АННОТАЦИЯ**

Целью нашей работы было создание эффективной модели фаговой терапии в кишечнике мыши. Основным методом работы был подбор генетически маркированных штаммов *E.coli* способных размножаться в кишечнике лабораторного животного. В качестве такого кандидата экспериментально был отобран штамм *E.coli* CR204, так как он обладал наибольшей длительностью сохранения в толстой кишке мыши с наиболее высоким титром и наличием маркера устой-

чивости к антибиотику — канамицину, хромосомной локализации. Таким образом, была создана экспериментальная модель для исследований в области фаговой терапии в кишечнике лабораторного животного.

#### ABSTRACT

The aim of our study was to create an effective model of phage therapy in the mouse intestine. The main method of work was the selection of genetically marked strains of E.coli are able to multiply in the intestines of laboratory animals. As such a candidate has been selected experimentally strain E.coli CR204, as it had the longest duration stored in mouse colon highest shooting range and the presence of an antibiotic resistance marker — kanamycin chromosomal localization. Thus, there was an experimental model for studies of phage therapy laboratory animal intestine.

**Ключевые слова:** экспериментальная модель фаговой терапии, штаммы E.coli, лабораторные животные.

**Keywords:** experimental model of phage therapy, the strains of E.coli, laboratory animals.

*Работа была частично поддержана грантом РФФИ № 13-04-00991.*

**Введение.** Существенным препятствием к широкому применению фаговых препаратов является недостаток знаний об отношениях фаг-хозяинская клетка, особенно в организме животного. Одним из наиболее распространенных типов таких взаимоотношений может быть трансдукция элементов генома бактерии бактериофагом. В связи с тем, что такой процесс может существенно повлиять на свойства симбиотической микробной популяции, необходимо его тщательное исследование. Изучение системы — фаг-бактерия-организм — возможно только в экспериментальной модели с использованием лабораторных животных. Поэтому целью нашей работы стало создание эффективной модели в кишечнике мыши.

**Результаты.** Для создания экспериментальной модели для исследования трансдукции в кишечнике животного в данной работе были взяты лабораторные штаммы, отличающиеся по физиологическим и генетическим характеристикам. Это штаммы E.coli C600 с плазмидой pBR322, несущей ген устойчивости к ампициллину, E.coli B с плазмидой pBR322, CR204, имеющий хромосомный ген канамицинустойчивости в составе транспозона. В экспериментах использовали белых лабораторных мышей массой 33—35 г.

Лабораторные штаммы *E.coli* обладают сниженной жизнеспособностью в природных условиях. Поэтому на начальном этапе работы была проведена проверка жизнеспособности выбранных штаммов в кишечнике экспериментального (подопытного) животного. Для этого вводили мышам клетки в количестве  $2,5 \cdot 10^8$  клеток/мл. Отбирали пробы через 15 мин, 1 час, 3 часа, 7 часов, 1 сутки, 7 суток. В каждый эксперимент было взято по три животных. Для выполнения работы в условиях *in vivo* была предложена специальная методика исследования выживаемости бактерий в кишечнике. Ночную культуру клеток исследуемого штамма разводили 1:20 в 5 мл среды LB и подращивали до оптической плотности 0,17 при длине волны 560 нм, что соответствует количеству  $2,5 \cdot 10^8$  клеток/мл. 150 мкл такой культуры вводили зондом в желудок мышей (на голодный желудок). Для отбора проб гипернатоктизировали животное хлороформом в эскипаторе, вскрывали брюшную полость и вырезали по 2 см кишечника на участках, соответствующих 12-типерстной кишке, тонкому и толстому кишечнику (для 12-типерстной — первые 2 см, для тонкого и толстого — 2 см в средней части). Пробы измельчали и помещали в пробирки с 3 мл среды LB без антибиотика, перемешивали. Через 1—2 мин перемешивание повторяли. При необходимости делали разведения проб и высевали 0,1 мл полученной суспензии на чашки с твердой агаризованной средой, содержащей селективный антибиотик и выращивали колонии при 37 °С. В экспериментах со штаммом *E.coli* CR204 клетки высевали на шашки с богатой средой, содержащей канамицин — 50 мкг/мл, а со штаммом *E.coli* C600 с плазмидой pBR322 на среду, содержащую ампицилин — 100 мкг/мл. Через 15 минут после введения бактерий жизнеспособные клетки обнаруживались только в двенадцатиперстной кишке (от 15 до 27 колоний), через 1 час только в тонком кишечнике (30—53 колонии). Через три часа бактерии достигали толстого кишечника (121—2676 колоний) и далее начинали колонизировать этот отдел желудочно-кишечного тракта мыши (1542—6005 колоний). Через 7 часов титр клеток, введенного штамма либо достигал максимума в случае с о штаммом *E.coli* CR204 (1542—1850 колоний), либо начинал немного снижаться для другого штамма *E.coli* B с плазмидой pBR322 (784—850). Через сутки жизнеспособные бактерии были обнаружены только в одном опыте со штаммом *E.coli* CR204 — 17 колоний.

Таким образом было показано, что клетки ни одного из штаммов не колонизируют кишечник и элиминируются примерно через сутки после введения. Этот факт можно объяснить существованием резидентной микрофлоры и связанной с ней колонизационной резис-

тентностью желудочно-кишечного тракта животного. Полученный нами результат подтверждается и данными из литературных источников, где описаны подобные эксперименты с другими лабораторными штаммами *E.coli* (1,2).

Для продолжения исследования был выбран штамм *E.coli* CR204, так как он обладал наибольшей длительностью сохранения в толстой кишке мыши с наиболее высоким титром и наличием маркера устойчивости к антибиотику — канамицину, хромосомной локализации. Он оставался в кишечнике по истечении 7 часов в титре примерно  $1,5 \cdot 10^3$  клеток на пробу. Штамм *E.coli* В с плазмидой pBR322 также можно было использовать для подобных опытов (количество по истечении 7 часов — около  $0,5 \cdot 10^3$  клеток на пробу).

Таким образом, была сконструирована модельная система фаговой терапии в кишечнике мыши.

### **Список литературы:**

1. Chibani-Chennoufi S., Sidoti J., Bruttin A., Kutter E., Sarker S., Brussow H. (2004). In vitro and in vivo bacteriolytic activities of *Escherichia coli* phages: implications for phage therapy. *Antimicrob Agents Chemother*, — 2004. — № 48, — pp. 2558—2569.
2. Smith H.W., Huggins M.B. & Shaw K.M. (1987). Factors influencing the survival and multiplication of bacteriophages in calves and in their environment. *J Gen Microbiol*, — 1987. — № 133, — pp. 1127—1135.



## 4.5. ТОКСИКОЛОГИЯ

### СПОСОБ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО СЫРЬЯ И ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

**Боган Владимир Иванович**

*аспирант ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный  
университет» (национальный исследовательский университет),  
Челябинск*

*E-mail: [banderlog3855@mail.ru](mailto:banderlog3855@mail.ru)*

**Гайсина Алина Раисовна**

*студент ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный  
университет» (национальный исследовательский университет),  
Челябинск*

*E-mail: [pbio@mail.ru](mailto:pbio@mail.ru)*

### THE METHOD OF POTENTIOMETRIC QUALITY CONTROL OF FOOD RAW MATERIALS AND FOOD PRODUCTS

**Vladimir Bogan**

*graduate student of South Ural State  
University (national research university),  
Chelyabinsk*

**Alina Gaisina**

*student of South Ural State University (national research University),  
Chelyabinsk*

#### АННОТАЦИЯ

Предложен способ определения концентрации токсичных веществ с ионселективными электродами методом двойной добавки с использованием упрощенной процедуры обработки результатов

измерения, который может быть использован в аналитических лабораториях и аналитическом приборостроении.

#### ABSTRACT

Proposed method for determining the concentrations of toxic substances with ion-selective electrodes using a double additives using a simplified procedure of processing of the measurement results that can be used in analytical laboratories and analytical instrument making.

**Ключевые слова:** физико-химические методы; аналитическая химия; биотехнология; контроль качества.

**Keywords:** physical and chemical methods; analytical chemistry; biotechnology; quality control.

В последнее время уделяется большое внимание контролю качества продовольственного сырья и пищевой продукции, осуществляемого различными физико-химическими методами анализа [1—6, 9—11]. В качестве одного из методов мы рассматриваем способ потенциометрического определения ионов с использованием ионселективных электродов.

Известен способ [12] потенциометрического определения ионов с использованием двойной стандартной добавки по которому неизвестную концентрацию  $c_x$  находят при решении уравнения численным методом.

$$\frac{E_2 - E_x}{E_1 - E_x} - \lg \left( \frac{c_x V_x + 2c_{st} V_{st}}{c_x (V_x + 2V_{st})} \right) / \lg \left( \frac{c_x V_x + c_{st} V_{st}}{c_x (V_x + V_{st})} \right) = 0 \quad (1)$$

где:  $c_x$  — концентрация определяемого вещества в анализируемом растворе;

$V_x$  — объем анализируемого раствора;

$c_{st}$  — концентрация стандартного раствора;

$V_{st}$  — объем стандартной добавки;

$E_x$  — потенциал ионселективного электрода в анализируемом растворе;

$E_1$  — потенциал анализируемого раствора, после внесения в него  $V_{st}$ ;

$E_2$  — потенциал этого раствора, после повторного внесения в него  $V_{st}$ .

Основным достоинством известного способа является то, что его можно использовать при неизвестной электродной функции. Поэтому данный способ можно отнести к безэталоным методам анализа, что существенно упрощает анализ. Другим достоинством считают возможность его использования в нелинейной области электродной функции, а это расширяет интервал определяемых содержаний. Способ рекомендован при анализе объектов со сложной матрицей, а также при наличии в пробе примесей неконтролируемого (переменного) содержания.

Недостатком способа является то, что численный метод требует предварительной оценки искомого содержания. Предварительную оценку затем уточняют в итерационных процедурах, при том условии, что итерационный процесс сходится. Вероятностный характер сходимости порождает его невысокую надежность.

Известен способ [8, с. 185—186], потенциометрического определения ионов с использованием двойной стандартной добавки. Известную концентрацию  $c_x$  находят методом интерполирования по предварительно составленной таблице функции. Причем, при использовании уравнения (1) его упрощают, пренебрегая эффектом разведения анализируемого раствора за счет внесения добавок.

Основным достоинством способа [8, с. 185—186], по сравнению с [12], является исключение сложных вычислительных процедур, свойственных численным методам обработки результатов анализа. Недостатком способа [8, с. 185—186] является его трудоемкость и невысокая точность. Алгоритм метода табличной интерполяции сложнее программировать, по сравнению со способом численного решения уравнения (1), при использовании вычислительной техники.

В основу нашего способа [7] положена техническая задача, заключающаяся в повышении качества анализа по методу двойной добавки, а также в упрощении процедуры обработки результатов измерений. Известную концентрацию  $c_x$ , вычисляют по формуле:

$$c_x = 0.0162 \frac{c_{st} V_{st}}{V_x} \cdot \left( \frac{E_2 - E_x}{E_1 - E_x} \right)^{8.96} \left( 1 - 2.45 \frac{V_{st}}{V_x} \right)^{-1} \quad (2)$$

Разведением анализируемого раствора за счет внесения добавок пренебрегают, также как в способе прототипа. Это упрощающее допущение достаточно строго выполняется при соотношении  $V_{st}/V_x \leq 0,02$ .

Существенным отличием заявляемого способа является простота обработки результатов анализа без ущерба качества анализа, см. таблицу 1. Дополнительным преимуществом является простота технической реализации вычислений, например с использованием обычного калькулятора.

Ниже, в таблице 1, сравниваются результаты определения малых концентраций свободной кислоты метода двойной добавки согласно заявленному способу и известными способами.

**Таблица 1.**

**Сравнительный анализ точности трех способов определения свободной кислоты**

Задано, $10^{-5}$ н.	Заявленный [7, с. ]		Аналог [12, с. 1172—1177]		Прототип [8, с. 185—186]	
	найдено, $10^{-5}$ н.	d, %	найдено, $10^{-5}$ н.	d, %	найдено, $10^{-5}$ н.	d, %
4,00	3,85	-3,8	3,85	-3,7	4,25	6,3
8,00	7,87	-1,6	7,90	-1,3	8,42	5,2
10,0	9,51	-4,9	9,56	-4,4	10,9	9,3
20,0	19,3	-3,5	19,5	-2,3	22,1	10
30,0	30,3	1,1	30,3	1,0	30,4	1,2

*Примечания: 1) d — отклонение среднего от действительного;  
2)  $s_r = 4\%$  — стандартное отклонение единичного результата.*

Из сравнения метрологических характеристик заявленного способа и способа аналога видно, что применение численного метода не дает выигрыша в точности. Однако получить численное решение гораздо сложнее по сравнению с прямыми вычислениями по уравнению (2). Применение более простого в вычислительном отношении, по сравнению с аналогом, способ прототипа приводит к существенным систематическим погрешностям.

Таким образом, поставленная техническая задача, заключающаяся в повышении качества анализа по методу двойной добавки, а также в упрощении процедуры обработки результатов измерений достигается за счет использования при обработке результатов уравнения (2).

Способ может быть применен при анализе объектов окружающей среды, медико-биологических анализах, анализе пищевых продуктов, а также при контроле технологических растворов разных производств. В частности, изобретение может быть использовано при разработке

программного обеспечения для сопряженных с ЭВМ приборов потенциометрического анализа. При этом наибольший эффект можно ожидать при использовании данного алгоритма для автоматических титропроцессоров.

### Список литературы:

1. Белокаменская А.М. Исследование пищевых продуктов и продовольственного сырья на содержание йода методом инверсионной вольтамперометрии / А.М. Белокаменская, М.Б. Ребезов, Н.Н. Максимюк, Б.К. Асенова // Сборник научных трудов SWorld: по материалам международной научно-практической конференции. — Т. 40. — № 2. Одесса, — 2013. — С. 3—7.
2. Белокаменская А.М. Исследование пищевых продуктов и продовольственного сырья на содержание ртути атомно-абсорбционным методом / А.М. Белокаменская, М.Б. Ребезов, А.Н. Мазаев, Я.М. Ребезов, Н.Н. Максимюк, Б.К. Асенова // Молодой ученый. — 2013. — № 10. — С. 98—101.
3. Белокаменская А.М. Исследование содержания токсичных элементов для оценки продовольственного сырья и пищевых продуктов современными методами / А.М. Белокаменская, М.Б. Ребезов // Актуальные проблемы качества и конкурентоспособности товаров и услуг: мат. I междунар. научн.-практ. конф. Набережные Челны: НГГТИ, 2013. — С. 17—19.
4. Белокаменская А.М. Применение физико-химических методов исследования в лабораториях Челябинской области / А.М. Белокаменская, М.Б. Ребезов, Я.М. Ребезов, О.В. Зинина // Молодой ученый. — 2013. — № 4. — С. 48—53.
5. Белокаменская А.М. Методы контроля содержания мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах / А.М. Белокаменская, М.Б. Ребезов, О.В. Зинина, Я.М. Ребезов // Знания молодых для развития ветеринарной медицины и АПК страны: мат. междунар. научн. конф. студентов, аспирантов и молодых уч. СПб: СПбГАВМ, 2013. — С. 60—66.
6. Боган В.И. Совершенствование методов контроля качества продовольственного сырья и пищевой продукции / В.И. Боган, М.Б. Ребезов, А.Р. Гайсина // Молодой ученый. — 2013. — № 10 — С. 101—104.
7. Голованов В.И. Обработка результатов потенциометрических измерений при использовании метода двойных стандартных добавок / Голованов В.И., Боган В.И. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2012. — Т. 78. — № 12. — С. 25—28.
8. Камман К. Работа с ионселективными электродами. М.: Мир, 1980. — 230 с.

9. Патент № 2413211 Российская Федерация, МПК G01N27/42. Способ потенциометрического определения вещества / Голованов В.И., Боган В.И.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет». — № 2009147066/28; заявл. 17.12.2009; опубл. 27.02.2011; Бюл. № 6.
10. Ребезов М.Б. Контроль качества результата анализа при реализации методик фотоэлектрической фотометрии и инверсионной вольтамперометрии в исследовании проб пищевых продуктов на содержание мышьяка / М.Б. Ребезов, И.В. Зыкова, А.М. Белокаменская, Я.М. Ребезов // Вестник Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого. — 2013. — № 71. — Т. 2. — С. 43—48.
11. Ребезов М.Б. Контроль качества результатов исследований продовольственного сырья и пищевых продуктов на содержание свинца / М.Б. Ребезов, А.М. Белокаменская, О.В. Зинина, Н.Л. Наумова, Н.Н. Максимюк, А.А. Соловьева, А.А. Солнцева // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. — 2012. — № 1. — Т. 2. — С. 157—162.
12. Brand M.,J.D. Computer approach to selective electrode potentiometry by standard addition methods / Brand M.,J.D. Rechnitz G.A. //Anal. Chem. — 1970. — V. 42, — № 11. — P. 1172—1177.

## 4.6. ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

### СОСТОЯНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ В МЕСТАХ ВОДОЗАБОРА И ИСТОЧНИКОВ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

*Джавадов Абульфат Калвалы-оглы*

*д-р биол. наук, доцент, зав. кафедрой химии, экологии и землеустройства  
Мценского филиала ФГБОУ ВПО «Госуниверситет — УНПК»,  
г. Мценск, Орловская область  
E-mail: [abulfat@inbox.ru](mailto:abulfat@inbox.ru)*

### THE CONDITION OF WATER QUALITY IN THE PLACES OF WATER INTAKE, AND WATER-SUPPLY SOURCES

*Zhavadov Abulfat Kalvaly ogly*

*doctor of Biology, the Head Department of chemistry, ecology and land  
management Mtsensk engineering branch  
of Federal state educational institution «University — ESPC»,  
Mtsensk, the Oryol region*

#### АННОТАЦИЯ

Установлено, что качество воды в местах водозабора и состояние источников питьевого водоснабжения Мценского района Орловской области находится в неудовлетворительном состоянии и поэтому требуется дальнейшее совершенствование производственного контроля за качеством питьевой воды.

#### ABSTRACT

Found the quality of water in the places of water intake, and the condition of drinking water sources of Mtsensk Oryol region is unsatisfactory and, therefore, need further improvement of the production quality control of drinking water.

**Ключевые слова:** водоснабжение; водозабор; артезианские скважины; питьевая вода.

**Key words:** water supply; water intake; artesian wells; drinking water.

Известно, что здоровый образ жизни основан на правильном питании, активности и потреблении чистой воды. Чистая питьевая вода повышает защиту организма от стресса. Она разжижает кровь, и, помогая сердечнососудистой системе, способствует борьбе организма с усталостью и стрессом [2, с. 53; 3, с. 60].

Однако в нашей стране практически все источники воды подвергаются антропогенному и техногенному загрязнению разной интенсивности. Санитарное состояние большей части открытых водоемов России в последние годы улучшилось из-за уменьшения сброса стоков промышленных предприятий, но все еще остается тревожным. Примерно 22 % питьевой воды, подаваемой населению, не отвечает гигиеническим требованиям по санитарно-химическим показателям. Около 1/3 населения используют для питья воду из децентрализованных источников, которая в 31,6 % случаев не отвечает требованиям [1, с. 120—128]. По указанным причинам Госкомсанэпиднадзор РФ состояние водоснабжения населения России оценивает как неудовлетворительное.

Целью наших исследований явилось изучение качества воды в местах водозабора и состояния источников питьевого водоснабжения Мценского района Орловской области.

Наши исследования показали, что водоснабжение города Мценска и Мценского района осуществляется из коммунальных и ведомственных водопроводов. Всего в районе имеются 145 водопроводов, 287 артезианских скважин, (в том числе 223 на балансе сельских поселений), около 600 водоразборных колонок, которые находятся на балансе 14 сельских поселений. Водопроводы района обслуживаются 8 организованными жилищно-эксплуатационными управлениями различных форм собственности (ООО «Жилино», ООО «МЖЭУ д. Первый Воин», ООО «Гранит», ООО «ЖЭУ с. Тельчье», МУП «ЖЭУ д. Протасово», МУП «Теплогаз Мценского района», ООО «Мегасервис», ООО «Коммунальщик»).

Водоснабжение г. Мценска осуществляется из коммунального и ведомственных водопроводов. Всё городское населения пользуется водопроводной водой.

Производственный контроль качества воды по санитарно-химическим, санитарно-микробиологическим показателям осуществляет ведомственная лаборатория МУП «Водоканал» и лаборатории филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Орловской области



в г. Мценске». Практически качество воды во всех источниках водоснабжения г. Мценска и района полностью охвачено лабораторным контролем.

Результаты исследований качества воды в 287 артезианских скважинах в период 2009—2011 годы представлены в таблице.

Как видно из результатов исследований, в 8,7 % артезианских скважин, расположенных в Мценском районе, качество воды не отвечает санитарным правилам и нормам. При этом в 8,3 % случаев низкое качество воды обусловлено отсутствием зоны санитарной охраны.

*Таблица 1.*

**Состояние качества питьевой воды  
в Мценском районе в местах водозабора**

Показатели	Подземные		
	2009	2010	2011
<b>Количество источников</b>	<b>287</b>	<b>287</b>	<b>287</b>
Из них не отвечает санитарным правилам и нормам	25	25	25
В т. ч. из-за отсутствия зоны санитарной охраны	24	24	24
Число исследованных проб по санитарно-химическим показателям	202	198	220
Из них не соответствует гигиеническим нормативам	19	11	15
Число исследованных проб по микробиологическим показателям	264	197	239
Из них не соответствует гигиеническим нормативам	13	0	6

В 2009 году из 202 проб воды 9,4 % по санитарно-химическим показателям не соответствовало гигиеническим нормативам. Этот показатель в 2010 году составил 5,8 % от общего количества исследованных проб, а в 2011 году, соответственно — 6,8 %.

В тоже время в 2009 году 4,92 % из числа исследованных проб по микробиологическим показателям не соответствовали гигиеническим нормативам. Отрадно, что все пробы воды, исследованные по этому показателю в 2010 году соответствовали гигиеническим нормативам, а в 2011 году число проб воды, не соответствующих гигиеническим нормативам, составило лишь 2,5 % от общего числа исследованных проб.

Однако состояние источников питьевого водоснабжения и качество воды в местах водозабора остается неудовлетворительным.

Многим водопроводам более 30—40 лет, их реконструкция (за исключением с. Тельче) не проводилась более 10 лет, на них происходят частые порывы, которые длительно не устраняются. Не в лучшем состоянии находятся также артезианские скважины — некоторые из них не имеют ограждений 1-го пояса зоны санитарной охраны, некоторые скважины не имеют герметизации, что может привести к загрязнению воды в скважинах паводковыми и грунтовыми водами, подземные павильоны засыпаны осыпавшимся грунтом и нередко затапливаются грунтовыми водами из-за течи в запорной арматуре, не все оголовки скважин подняты над уровнем земли на должную высоту — 0,5 метра. Некоторые водоразборные колонки не отремонтированы, смотровые колодцы затоплены водой, не выполнена отсotka, отсутствуют водоотводящие лотки.

Ситуация с некачественным обслуживанием объектов водоснабжения имела место и в Спасско-Лутовиновском сельском поселении в 2010 году, однако проверить предписание об устранении нарушений, выданное ООО «Техагроком», не представлялось возможным из-за отсутствия в 2011 году договора с администрацией на обслуживание объектов водоснабжения, так как деятельность предприятия была приостановлена. В настоящее время эксплуатацией и обслуживанием занимается ООО «Коммунальщик».

К сожалению, о возникновении аварийных ситуаций на водопроводных сетях органы Роспотребнадзора не информируются, акты дезинфекционной обработки водопроводных сетей в адрес территориального отдела не предоставляются (так, за 2011 год в адрес территориального отдела поступила лишь 1 информация — от главы администрации Чахинского сельского поселения).

Как правило, после ликвидации аварий, качество воды, поступающей в дома жителей, не проверяется и не гарантирует её благоприятные органолептические и микробиологические свойства и безопасность, что, в свою очередь, создает угрозу возникновения массовых желудочно-кишечных инфекционных заболеваний.

В 2011 году в адрес территориального отдела поступила жалоба на неудовлетворительное качество питьевой воды в д. Брагино Тельченского сельского поселения. Проведено административное расследование, информация подтвердилась, действительно, жители деревни были обеспечены водой с повышенным содержанием железа, превышением цветности воды. По результатам расследования наложен административный штраф на юридическое лицо ООО «ЖЭУ с. Тельче».

К сожалению, управленческие решения, направленные на улучшение качества питьевой воды, администрациями города и района часто не принимаются. Администрации, передав водо-

проводы на обслуживание управляющим организациям, практически полностью устранились от контроля за водоснабжением.

Несмотря на некоторые негативные моменты, ситуация немного улучшается. В настоящее время практически всеми организациями, обслуживающими водопроводные сооружения, заключены договора на проведение производственного лабораторного контроля с аккредитованной лабораторией и имеют программы производственного контроля, утвержденные в установленном порядке. Как следствие, при своевременном проведении ремонтных работ на водопроводных сооружениях, улучшается и качество питьевой воды.

Отмечается и положительный эффект проведенных надзорных мероприятий — ограждены все скважины МУП «Водоканал» г. Мценска, Подмокринского, Черемошенского, Тельченского, Протасовского сельских поселений, активно проводятся мероприятия по выполнению предписания в Алябьевском, Воинском, Аникановском, сельских поселениях, произведена замена глубинных насосов в Спасско-Лутовиновском, Чахинском, Аникановском сельских поселениях. Ведется работа по приведению скважин в соответствие с санитарными правилами в Спасско-Лутовиновском и Воинском сельском поселении.

В городе Мценске МУП «Водоканал» проводит постоянный мониторинг питьевой воды в собственной лаборатории, а результаты направляются в территориальный отдел. Решен вопрос по улучшению качества питьевой воды на ул. Автомагистраль (на месте бывшей нефтебазы) — произведен запуск скважины ОАО «ММПК». В настоящее время завершается работа над разработкой муниципальной целевой программы «Чистая вода» по Мценскому району.

Вместе с тем необходимо отметить, что производственный контроль за качеством питьевой воды на территории Мценского района осуществляется еще не в полном объеме и требует дальнейшего совершенствования.

### **Список литературы:**

1. Авакян А.Б., Широков В.М. Рациональное использование водных ресурсов: Учебник для геогр., биол. и строит. спец. вузов // Екатеринбург: Виктор, 1994. — 320 с.
2. Демков А.И. Новые промышленные технологии. Вода — фундамент здоровья // Энергетика и промышленность России. — 2007. — № 4. — С. 53.
3. Яковлев П.И. Беззащитная вода // Экология и жизнь. — 2007. — № 8. — С. 60—61.

## СЕКЦИЯ 5.

### ХИМИЯ

#### 5.1. ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

##### РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР КИСЛОТНЫХ МОЮЩИХ СРЕДСТВ

*Анохина Екатерина Сергеевна*

*аспирант ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет),  
Челябинск*

*E-mail: [anohina74@yandex.ru](mailto:anohina74@yandex.ru)*

*Ребезов Максим Борисович*

*д-р с.-хоз. наук, зав. кафедрой Прикладная биотехнология, профессор  
ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет),  
Челябинск*

*E-mail: [rebezov@yandex.ru](mailto:rebezov@yandex.ru)*

*Нагибина Виктория Викторовна*

*студент ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет),  
Челябинск*

*E-mail: [nagibina.viktori@mail.ru](mailto:nagibina.viktori@mail.ru)*

## DEVELOPMENT OF FORMULATIONS OF ACID DETERGENT

*Ekaterina Anokhin*

*graduate student  
of South Ural State University (national research University),  
Chelyabinsk*

*Maxim Rebezov*

*doctor of agricultural Sciences, Head of Applied biotechnology,  
professor of South Ural State University (national research University),  
Chelyabinsk*

*Viktoriya Nagibina*

*student of South Ural State University (national research University),  
Chelyabinsk*

### АННОТАЦИЯ

Разработанная рецептура не содержит агрессивных по отношению к окружающей среде компонентов. Средство эффективно взаимодействует с различными отложениями накипи (карбонатными, силикатными и др.) путем размягчения, смыва их с очищаемых металлических поверхностей с образованием с катионами молекул металла и др. ионными соединениями устойчивых в водном растворе комплексов и защитой обрабатываемых поверхностей от коррозионных процессов.

### ABSTRACT

Developed recipe contains no aggressive to the environment components. Effectively communicates with the various deposits of scale (carbonate, silicate and other) by softening, rinse them in the treated metal surfaces with the formation with cations of molecules metal and the other ionic compounds stable in aqueous solution complexes and protection of treated surfaces from corrosion processes.

**Ключевые слова:** ПАВ; моющие средства; способы очистки; моющие составы; органические загрязнения, пищевая промышленность.

**Keywords:** SAS; detergents; methods for cleaning; washing substances; organic pollution, food industry.

Проведя патентные исследования нами выявлена потребность рынка в разработке кислотного моющего состава [1—4]. Исходя из этого, были поставлены задачи по выполнению данных научно-практических исследований; необходимо не только подобрать оптимальный состав биоразлагаемых кислот для удаления накипи на различном технологическом и теплообменном оборудовании, но и оптимальные поверхностно-активные вещества, способствующие улучшению смачивания гидрофобной поверхности и препятствующие развитию бактериальной флоры [5, 6]. Были исследованы типичные доступные карбоновые кислоты, имеющие низкие показатели экотоксичности: уксусная, пропионовая, оксипропионовая, лимонная, масляная, валериановая, янтарная, винная, яблочная, щавелевая, адипиновая, малеиновая, янтарная, а так же гликолевая, молочная, метансульфоновая, фосфовая, октилфосфовая кислоты и их комбинации. Комбинация лимонной и метансульфоновой кислоты привела к увеличению моющей способности. Эксперимент показал, что водные растворы этой смеси при концентрации 0,5—10 % достаточно эффективно растворяют карбонаты кальция и магния. Моющий состав содержит совместимые кислоты (сильную и слабую) в концентрации, достаточной для получения рабочих растворов, имеющих рН в диапазоне приблизительно 0,2—3,0. Далее исследованы поверхностно-активные вещества в качестве технологических добавок для улучшения моющей способности химических композиции, а так же для защитных противокоррозионных свойств по отношению к обрабатываемым металлическим поверхностям. Определили моющую способность составов с различной концентрацией поверхностно-активных веществ различной природы по отношению к накипи, образуемой на металлической поверхности. Оптимальным выбором поверхностно-активного вещества является смесь этоксилированных жирных кислот (капрет-9 карбоновая кислота, гексет-4 карбоновая кислота в определенном соотношении), стабильная в кислой среде и проявляющая антикоррозионное воздействие на обрабатываемые металлы.

Данные по очистке, полученные в лаборатории, подтвердили теоретический прогноз [7, 8]. Добавление смеси этоксилированных жирных кислот существенно улучшают очищающие рабочие характеристики моющих растворов. Было обнаружено, что даже при добавлении в относительно небольших количествах поверхностно-активные вещества обеспечивают превосходную очистку, по эффективности даже превосходят растворы сильных минеральных кислот. Предпочтительно количество этоксилированных жирных

кислот, присутствующего в кислотных моющих составах, варьируется в диапазоне 0,15—6,00 % масс. Применение этих композиционных элементов в указанных количествах не агрессивно по отношению к окружающей среде [9, 10]. Разработанная рецептура не содержит агрессивных по отношению к окружающей среде компонентов. Средство эффективно взаимодействует с различными отложениями накипи (карбонатными, силикатными и др.) путем размягчения, смыва их с очищаемых металлических поверхностей с образованием с катионами молекул металла и др. ионными соединениями устойчивых в водном растворе комплексов и защитой обрабатываемых поверхностей от коррозионных процессов.

### Список литературы:

1. Анохина Е.С. Определение закономерностей удаления сложных белково-жировых загрязнений / Е.С. Анохина, М.Б. Ребезов // Сборник научных трудов SWorld. По материалам международной научно-практической конференции. — Том 42. — № 1. — Одесса, 2013. — С. 92—97.
2. Анохина Е.С. Физико-химические аспекты гигиены пищевых производств / Е.С. Анохина, М.Б. Ребезов // Экономика и бизнес. Взгляд молодых: мат. междунар. заоч. научн.-практ. конференция молодых ученых. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2012. — С. 234—236.
3. Анохина Е.С. Разработка профессиональных систем гигиенической очистки пищевого оборудования / Е.С. Анохина // Актуальные проблемы качества и конкурентоспособности товаров и услуг: мат. I междунар. научн.-практ. конф. Набережные Челны: НГТТИ, 2013. — С. 7—10.
4. Анохина Е.С. Реализация инновационного проекта «Моющие и дезинфицирующие средства для очистки оборудования пищевой и перерабатывающей промышленности» / Е.С. Анохина, М.Б. Ребезов // Продовольственная безопасность Казахстана: состояние и перспективы, посв. 70-летию д. т. н., проф., чл.-корр. КазАСХН Тулеуова Е.Т.: мат. междунар. научн.-практ. конференции. Семей : СМУ, 2012. — С. 12—13.
5. Анохина Е.С. Разработка и применение в пищевой промышленности мультиферментных моющих средств / Е.С. Анохина, М.Б. Ребезов // Проблемы устойчивого развития производства пищевых продуктов в Центральной Азии : мат. междунар. научн.-практ. конференции. Худжанд, 2013. — С. 44—47.
6. Анохина Е.С. Усовершенствование технологических режимов санитарной обработки оборудования / Е.С. Анохина, М.Б. Ребезов // Качество продукции, технологий и образования: мат. VIII всеросс. научн.-практ. конференции с междунар. участием. Магнитогорск: МГТУ, 2013. — С. 36—39.

7. Анохина Е.С. Роль комплексообразователей в моющих средствах для пищевой промышленности / Е.С. Анохина, М.Б. Ребезов // Қазақстанның тамақ және қайта өңдеу өнеркәсібі: қазіргі жағдайы мен даму болашағы: мат. халықаралық ғылы-тәжірибелік конф. Семей, 2012. — Б. 134—135.
8. Анохина Е.С. Результаты определения химического и биологического потребления кислорода разработанных кислотных и щелочных моющих средств / Е.С. Анохина, М.Б. Ребезов // Знания молодых для развития ветеринарной медицины и АПК страны: мат. междунар. научн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых Спб: СпбГАВМ, 2013.
9. Анохина Е.С. Исследование степени биоразлагаемости разработанных моющих композиций / Е.С. Анохина, М.Б. Ребезов, В.В. Нагибина, Б.К. Асенова, Н.Н. Максимюк // Молодой ученый. — 2013. — № 10. — С. 84—86.
10. Анохина Е.С. Проведение производственных испытаний разработанных моющих средств / Е.С. Анохина, М.Б. Ребезов // Техника и технология пищевых производств: мат. IX междунар. научн.- технич. конференции. Могилев: МГУП, 2013. — С. 168.

## **ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТНОЙ ПЛЕНКИ**

***Бондаренко Янина Валентиновна***

*аспирант кафедры химической технологии и экологии  
Санкт-Петербургского государственного университета  
Кино и Телевидения,  
г. Санкт-Петербург  
E-mail: [jana-bond@inbox.ru](mailto:jana-bond@inbox.ru)*

## **IMPROVE THE MECHANICAL PROPERTIES OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE FILM**

***Bondarenko Yanina***

*graduate student of Chemical Engineering and Environment  
St. Petersburg State University of Cinema and Television,  
St. Petersburg*



## АННОТАЦИЯ

В статье приведен анализ результатов исследования полимерного покрытия для последующей реставрации кинофотоматериалов на полиэтилентерефталатной основе. Показано увеличение механических свойств пленки при нанесении полимерной композиции на основе метакриловой смолы.

## ABSTRACT

The article is an analysis of the research results of the polymer coating for subsequent restoration on polyethyleneterephthalate film photographic basis. The increase of mechanical properties of the film when applied to the polymeric composition of the methacrylic resin.

**Ключевые слова:** кинопленка; реставрация полиэтилентерефталатной основы; предел прочности, относительное удлинение.

**Keywords:** film; restoration of polyethyleneterephthalate basics; tensile strength, elongation.

Кинопленка — уникальное изобретение и универсальное средство хранения движущихся изображений. Однако в процессе эксплуатации она подвергаются значительным тепловым и механическим воздействиям в кинопроекционной аппаратуре, а также температурно-влажностным — при их хранении и транспортировке [5]. Все это приводит к износу кинопленки, снижает срок её службы, сокращая, с нескольких сотен лет до нескольких десятилетий, а в худшем случае всего до нескольких лет, что тем самым отражается на качестве экранного изображения и звуковоспроизведения [3]. Многие архивные кинопленки содержат информацию, представляющую большой исторический интерес и имеющую большую культурную и коммерческую ценность. В связи с этим их сохранение, а при необходимости и реставрация оказываются вдвойне важными. Архивы на кинопленке насчитывают миллионы часов отснятых материалов, и большая их часть может быть использована снова, если качество будет удовлетворительным.

Одна из главных составляющих кинофотоматериала — основа, занимающая 80—90 % от толщины всего материала. В качестве основы носителя записи информации преимущественно используют полимерные пленки из полиэтилентерефталата (ПЭТ) [4]. Назначение основы является придание материалу необходимых физико-механических свойств, которые характеризуют отношение их к взаимодействию физической нагрузки в определенном интервале температур.

К ним относятся предел прочности, относительная деформация при соответствующем разрушении, число двукратных изгибов, твердость.

Фильмокопии в процессе эксплуатации приобретают в основном два поверхностных дефекта — загрязнения и повреждения, что существенно снижает качество кинопоказа и мешает зрительному восприятию фильма. Влияние царапин на поверхностях фильмокопий не ограничивается только снижением качества кинопоказа. Царапины, нарушающие целостность поверхностей, вызывают, в том числе снижение прочностных свойств пленки. К практически полному восстановлению механических свойств приводит реставрационная обработка.

Одним из эффективных способов реставрационной обработки фильмокопий является нанесение на фотослой полимерного покрытия обладающего комплексом специфических свойств, обеспечивающих иммерсионный эффект. Такой способ является одним из наиболее перспективных средств повышения технического ресурса фильмокопий. Несмотря на всю сложность разработки таких покрытий, вследствие предъявления к ним ряда требований, нередко трудно выполнимых, перспективность этого способа в системе реставрационно-профилактических обработок фильмокопий является бесспорной, учитывая современную тенденцию совершенствования свойств киноплёночных материалов [1].

В качестве объекта исследования использовался плёночный материал из ПЭТ. Реставрация такой пленки посредством «залечивания» поверхностных дефектов, возникших в результате механических повреждений, является начальным этапом комплексного исследования по реставрации киноплёнки в целом.

Для восстановления пленки в местах повреждений использованы метакриловая смола средней твердости — Degalan LP 64/12 (далее, Degalan), легко растворимая в эфирах и смешиваемая со спиртами, характеризуются отличной прочностью, эластичностью и светостойкостью. Метакриловую смолу разбавляли в растворителе Р-4, который представляет собой смесь из различных химических соединений, имеющих летучую основу. Для выбора оптимального соотношения метакриловой смолы и растворителя были проведены испытания на определения предела прочности и относительного удлинения пленки при разрыве.

Данные показатели определяются на разрывной машине. Машина состоит из станины, в верхней части которой находится динамометр, а в нижней части приводной механизм.

Нагрузку, при которой образец разрушился, определяют по кривой растяжения образца или по шкале нагрузок. При этом величины нагрузок, полученные при испытании образцов, разорвавшихся непосредственно у зажимной клеммы, при вычислении предела прочности в расчет не принимают.

Относительное удлинение пленки определяют зная предел прочности и выражают как процентное отношение длины образца в момент разрыва к первоначальной длине образца. За результат принимают среднее арифметическое значение результатов измерений, полученных при испытании не менее трех образцов. В расчет принимают только результаты, которые отличаются от максимального значения менее чем на 15 % [2].

В лабораторных испытаниях участвуют по 4 образца ПЭТ-пленки разной концентрации Degalan. Длина образца составляет 140 мм, а ширина 15 мм. Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Предел прочности  $\sigma_p$  в Н/мм<sup>2</sup> вычисляют по формуле

$$\sigma_p = \frac{P_p}{F},$$

где:  $P_p$  — нагрузка, при которой образец разрушился, Н;  
 $F$  — площадь начального поперечного сечения образца.

Площадь начального поперечного сечения образца вычисляют умножением толщины на ширину образца.

**Таблица 1.**

**Определение предела прочности и относительного удлинения пленки при разрыве**

Образец	Толщина h, мкм					Удлинение l, мм			$P_p$ , Н	$\sigma_p$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{пер.}$ , Н/мм <sup>2</sup>
	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>ср.</sub>	$\Delta h$	l	l <sub>ср.</sub>	l, %			
I. Без покрытия											
1	26,00	26,50	26,00	26,17	0,25	7,00	8,25	5,00	4,70	11,97	11,19
2	25,50	26,00	26,00	25,83	0,25	6,00		4,29	4,20	10,84	
3	26,00	25,00	25,50	25,50	0,50	8,00		5,71	4,30	11,24	
4	26,50	26,00	26,00	26,17	0,25	6,00		4,29	4,20	10,70	

Degalan 10 %											
1	32,50	29,50	35,00	32,33	2,75	9,00	9,75	6,43	6,70	13,81	13,22
2	32,00	25,50	26,50	28,00	2,75	9,00		6,43	6,70	15,95	
3	26,50	27,50	31,50	28,50	2,50	10,00		7,14	5,10	11,93	
4	25,50	30,00	34,00	29,83	4,25	11,00		7,86	5,00	11,17	
Degalan 7 %											
1	27,50	26,50	25,50	26,50	1,00	9,00	13,13	6,43	7,00	17,61	13,17
2	25,50	29,50	27,50	27,50	2,00	13,00		9,29	4,60	11,15	
3	25,50	30,00	27,00	27,50	2,25	11,00		7,86	4,90	11,88	
4	27,50	32,50	26,50	28,83	3,00	10,00		7,14	5,20	12,02	
Degalan 5 %											
1	27,00	27,00	27,50	27,17	0,25	19,00	15,50	13,57	5,50	13,50	12,09
2	25,50	26,50	25,50	25,83	0,5	15,00		10,71	5,00	12,90	
3	29,00	27,00	27,50	27,83	1,04	15,00		10,71	4,40	10,54	
4	25,50	26,50	28,50	26,83	1,53	13,00		9,29	4,60	11,43	

Выводы: Согласно полученным результатам, можно рекомендовать композицию, содержащую 10 % метакриловой смолы Degalan LP 64/12 для дальнейшего использования в комплексном исследовании по реставрации киноплёнки в целом и сравнения с другими полимерными покрытиями. В настоящее время проводятся испытания по адгезии получившегося полимерного покрытия к киноплёнке.

### Список литературы:

1. Бурдыгина Г.И. Фильмокопии. Свойства. Профилактика. Реставрация. Хранение. М.: Искусство, 1991. — 207 с.
2. Ильина В.В., Осмоловская Н.А., Зиненко Т.Н. Охрана окружающей среды в технологии полимеров. Часть I. Полимеры. Основы процессов переработки полимеров. СПб.: СПбГУКиТ, 2011. — 43—45 с.
3. Коровкин В.Д. Техническая эксплуатация фильмокопий. М.: Искусство, 1983. — 144 с.
4. Мнацканов С.С., Варламов А.В. Пленкообразующие полимеры для носителей записи информации: учебное пособие. СПб.: СПбГУКиТ, 2007. — 78 с.
5. Ричард Лилли Уменьшение затрат на реставрацию архивных киноплёнок [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://redmaster.ru/text/kino-arh-hran.shtml> (дата обращения: 15.09.2013).

## 5.2. ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

### МЕТИЛЛИНОЛЕАТНАЯ КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ АНТИОКСИДАНТНЫХ СВОЙСТВ КАПОТЕНА

*Перевозкина Маргарита Геннадьевна*

*канд. хим. наук, старший преподаватель*

*Государственного аграрного университета Северного Зауралья,*

*г. Тюмень*

*E-mail: [mgperevozkina@mail.ru](mailto:mgperevozkina@mail.ru)*

### METHYL LINOLEATE KINETIC MODEL FOR TESTING THE ANTIOXIDANT PROPERTIES OF CAPOTEN

*Margarita G. Perevozkina*

*candidate of Science, Senior Lecturer, Department of State Agrarian*

*University of North Zauralye,*

*Tyumen*

#### АННОТАЦИЯ

Исследована антиоксидантная активность капотена (1-[(2S)]-3-меркапто-2-метил-пропионил]-L-пролина) в сравнении со стандартными антиоксидантами дибунолом (ионолом) и  $\alpha$ -токоферолом в безводных инициированных и водно-липидных катализируемых субстратах. Установлена высокая антиоксидантная активность капотена в водно-липидной среде. Показано участие капотена в процессе разрушения гидропероксидов молекулярным путем.

#### ABSTRACT

Studied antioxidant activity capoten (1-[(2S)]-3-mercapto-2-methyl-propionyl]-L-proline), in comparison with standard antioxidants dibunol (ionol) and  $\alpha$ -tocopherol in waterless initiated and water-lipid catalyzed substrates. The high antioxidant activity capoten in water-lipid medium. Shows the involvement of capoten in the process of destruction of hydroperoxide by molecular means.

**Ключевые слова:** антиоксиданты;  $\alpha$ -токоферол; дибунол; ионол; капотен; пероксидное окисление; антиоксидантная активность.

**Keywords:** antioxidants;  $\alpha$ -tocopherol; dibunol; ionol; capoten; peroxide oxidation; antioxidant activity.

В настоящее время развитие многих патологических состояний связывают с изменением интенсивности свободно-радикального окисления липидов биомембран [1, с. 49—51, 3, 6]. Поэтому, при ряде заболеваний применяют антиоксидантотерапию. В связи с этим, актуальной является проблема предварительного тестирования антиоксидантных свойств лекарственных препаратов.

**Целью работы** являлось тестирование антиоксидантной активности капотена при различных способах инициирования в безводных и водно-липидных средах в сравнении с реперными (стандартными) антиоксидантами дибунолом (ионолом) и  $\alpha$ -токоферолом.

#### **Экспериментальная часть**

Антиоксидантную активность (АОА) изучали манометрическим методом поглощения кислорода в модифицированной установке типа Варбурга при окислении метиллинолеата (МЛ) в присутствии триметилцетиламмоний бромида (ЦТМАБ) в качестве поверхностно-активного вещества (ПАВ) при концентрации  $1 \times 10^{-3}$  М, с добавками растворов хлорида меди (II) в количестве  $2 \times 10^{-3}$  М при  $t = (60 \pm 0,2)^\circ\text{C}$ . Соотношение воды и липидов составляло 3:1, а общий объем пробы 4 мл [7, с. 55, 9, с. 82]. Кинетику поглощения кислорода в безводной среде изучали в среде инертного растворителя хлорбензола, процесс инициировали за счет термического разложения азо-бис-изобутиронитрила (АИБН) в концентрации  $6 \times 10^{-3}$  М. В качестве критериев оценки антиоксидантных свойств соединений использовали — периоды индукции, начальные и максимальные скорости окисления.

Графическим методом определяли величину периода индукции ( $\tau_i$ ), представляющей собой отрезок оси абсцисс, отсекаемый перпендикуляром, опущенным из точки пересечения касательных, проведенных к кинетической кривой. Эффективность торможения процесса окисления липидного субстрата определяется совокупностью реакций ингибитора и обозначает его антиоксидантную активность, количественно определяемой по формуле  $AOA = \tau_i - \tau_s / \tau_s$ , где  $\tau_s$  и  $\tau_i$  — периоды индукции окисления субстрата в отсутствие и в присутствии исследуемого антиоксиданта (АО) соответственно. Кинетику накопления гидропероксидов изучали при аутоокислении метилолеата (МО) методом обратного йодометрического титрования в среде

хлорбензола при  $t=(60\pm 0,2)^{\circ}\text{C}$ . В качестве реперных ингибиторов использовали  $\alpha$ -токоферол и дибунол, при этом концентрации АО были сравнимыми. Критическую концентрацию мицеллообразования ЦТМАБ изучали методом Ребиндера и рефрактометрическим методом. Полученные в процессе окисления липидных субстратов экспериментальные кинетические кривые (КК) описывались функциональными зависимостями методом наименьших квадратов.

### **Результаты и их обсуждение**

Капотен представляет собой 1-[(2S)-3-меркапто-2-метилпропионил]-L-пролин. Препарат применяют при лечении легкой и умеренной гипертензии, а также при тяжелых формах сердечно-сосудистых заболеваний. Химическая структура капотена позволяет прогнозировать его ингибирующую активность за счет восстановления гидропероксидов меркаптогруппой или хелатирования катализатора. Впервые антиоксидантные свойства капотена были показаны в нашей работе [8, с. 105]. Представляло интерес исследовать антиоксидантную активность капотена в процессе окисления метиллинолеата в условиях инициирования в среде хлорбензола и катализа в водно-липидной среде в сравнении с дибунолом и  $\alpha$ -токоферолом. Формулы изучаемых соединений представлены в таблице 1.

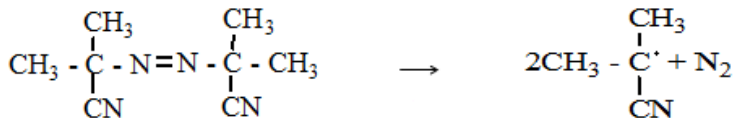
На рис. 1. показаны КК окисления МЛ в растворе хлорбензола в присутствии широкого диапазона концентраций ( $1\times 10^{-6}$ - $1\times 10^{-1}$ ) М капотена. АО в безводной среде проявлял сложный механизм действия, обусловленный его вероятным участием в реакциях обрыва, продолжения и зарождения цепей. Влияние капотена заключается в том, что при одних концентрациях происходит уменьшение максимальной скорости, при других — наблюдается ускорение процесса окисления. Из таблицы 2. видно, что начальные и максимальные скорости процесса меняются экстремально: снижаются с увеличением концентрации до  $1\times 10^{-4}$  М (соответствует соотношению инициатора и капотена 60:1) и увеличиваются при дальнейшем её повышении.

Таблица 1.

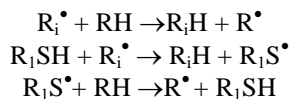
## Химические формулы изучаемых антиоксидантов

№ п/п	Название АО	Формула
1	Капотен 1-[(2S)-3-меркапто-2-метилпропионил]-L-пролин	
2	Дибунол (2,6-ди- <i>tert</i> -бутил-4-метил-фенол)	
3	α-токоферол (6-гидрокси-2,5,7,8-тетраметил-2-фитилхроман)	

Характер воздействия капотена на процесс инициированного окисления МЛ может быть объяснен его участием в радикальном процессе. Известно [10, с. 780], что инициатор распадается с образованием радикалов по реакции:

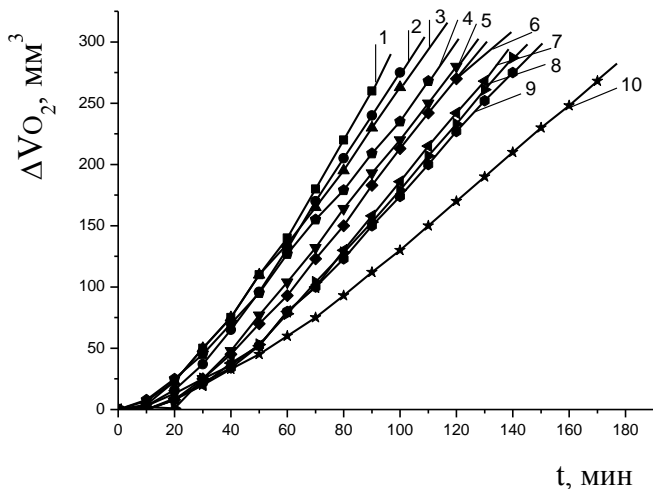
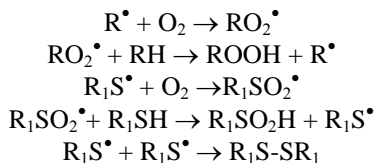


Радикал инициатора ( $\text{R}_i \cdot$ ) конкурентно взаимодействует с липидным субстратом или с меркапто-группой капотена ( $\text{R}_1\text{SH}$ ) по реакциям:





Далее радикалы липидного субстрата ( $R^\bullet$ ) и капотена ( $R_1S^\bullet$ ) взаимодействуют с кислородом по реакциям:



**Рисунок 1.** Кинетика окисления метиллинолеата в безводной среде в присутствии  $6 \times 10^{-3}$  М АИБН и капотена М: 2 — контроль; 1 —  $1 \times 10^{-2}$ ; 3 —  $8 \times 10^{-3}$ ; 4 —  $1 \times 10^{-1}$ ; 5 —  $5 \times 10^{-4}$ ; 6 —  $5 \times 10^{-6}$ ; 7 —  $1 \times 10^{-6}$ ; 8 —  $1 \times 10^{-3}$ ; 9 —  $8 \times 10^{-4}$ ; 10 —  $5 \times 10^{-5}$ ,  $t = 60^\circ \text{C}$

Наблюдаемое увеличение суммарной скорости процесса при высоких концентрациях капотена, вероятно, происходит за счет вклада более быстрого окисления АО по сравнению с окислением жирно-кислотных компонентов липидов. Снижение максимальной скорости без торможения начальных стадий окисления при небольших добавках капотена может быть связано с участием соединения в распаде гидропероксидов по молекулярному механизму:

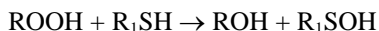
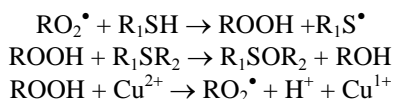


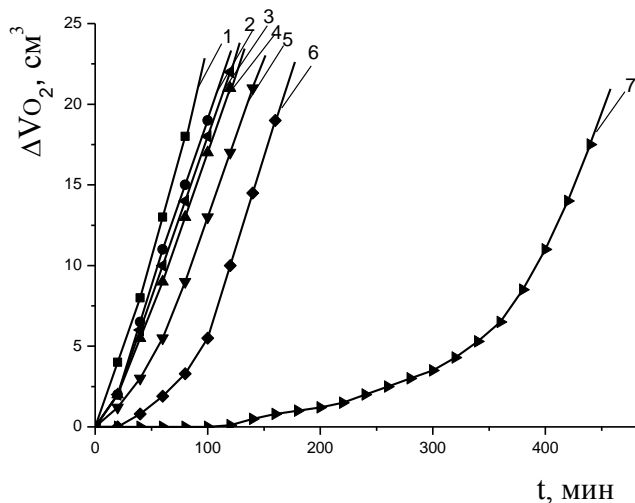
Таблица 2.

**Кинетические параметры окисления метиллинолеата в безводной среде в присутствии  $6 \times 10^{-3}$  М АИБН в зависимости от концентрации капотена,  $t = 60^\circ\text{C}$**

№ п/п	[InH], М×с	$\tau$ , мин.	$W_{\text{нач.}} \times 10^{-8}$ , М×с <sup>-1</sup>	$W_{\text{max.}} \times 10^{-7}$ , М×с	$\frac{[\text{АИБН}]}{[\text{InH}]}$
1	Контроль МЛ	20	6,0	2,2	-
2	$1 \times 10^{-6}$	42	5,0	1,9	6000 : 1
3	$5 \times 10^{-6}$	36	4,7	1,8	1200 : 1
4	$5 \times 10^{-5}$	90	4,5	1,7	120 : 1
5	$1 \times 10^{-4}$	44	4,5	1,7	60 : 1
6	$5 \times 10^{-4}$	36	4,9	2,0	12 : 1
7	$1 \times 10^{-3}$	20	6,0	2,2	6 : 1
8	$1 \times 10^{-2}$	30	7,2	2,4	1 : 1,7
9	$1 \times 10^{-1}$	22	8,0	2,8	1 : 17

На рис. 2 представлены КК каталитического окисления МЛ в водно-липидной среде в присутствии ( $1 \times 10^{-6}$ - $1 \times 10^{-1}$ ) М капотена. Показано, что все добавки АО тормозят процесс окисления. Низкие концентрации капотена ( $1 \times 10^{-6}$ - $1 \times 10^{-3}$ ) М пропорционально уменьшают начальную и максимальную скорости процесса. При концентрациях  $1 \times 10^{-3}$  М и выше происходит торможение начальных стадий процесса, увеличение периода индукции и достижение максимальной скорости после выхода из периода индукции (табл. 2). Характер влияния капотена на кинетику каталитического окисления МЛ может быть объяснен следующим образом. Капотен может участвовать в реакциях обрыва цепей, обеспечивая ингибирование процесса окисления. Снижение скорости окисления под влиянием капотена может быть обусловлено его конкурентным участием с катализатором в молекулярном распаде гидропероксидов, что сказывается на снижении скорости разветвления цепей и скорости процесса в целом:





**Рисунок 2.** Кинетика окисления метиллинолеата в водно-липидной среде в присутствии капотена: 1 – контроль; 2 —  $1 \times 10^{-6}$  M; 3 —  $1 \times 10^{-5}$  M; 4 —  $1 \times 10^{-4}$  M; 5 —  $1 \times 10^{-3}$  M; 6 —  $1 \times 10^{-2}$  M; 7 —  $1 \times 10^{-1}$  M,  $2 \times 10^{-3}$  M  $\text{CuCl}_2$ ,  $t = 60^\circ \text{C}$

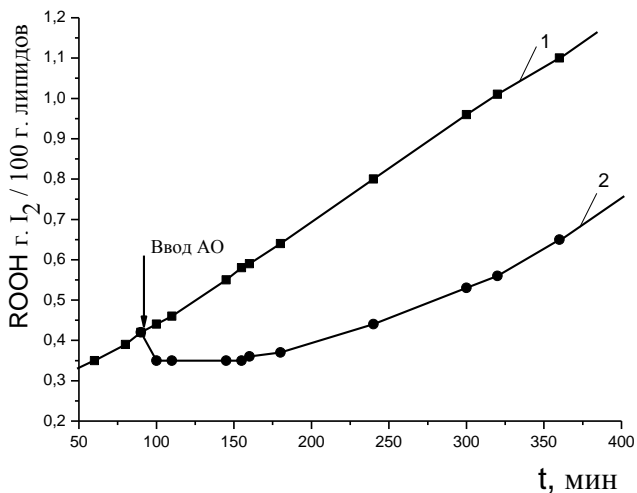
**Таблица 3.**

**Кинетические параметры окисления метиллинолеата в водно-эмульсионной среде в присутствии  $2 \times 10^{-3}$  M  $\text{CuCl}_2$  в зависимости от концентрации капотена,  $t = 60^\circ \text{C}$**

№ п/п	[InH], M	$\tau$ , мин.	$W_{\text{н.}} \times 10^{-5}$ , M×с	$W_{\text{мак.}} \times 10^{-4}$ , M×с	$\frac{[\text{CuCl}_2]}{[\text{InH}]}$
1	Контроль	5	14,4	2,6	—
2	$1 \times 10^{-6}$	8	7,6	1,6	2000 : 1
3	$1 \times 10^{-5}$	15	6,9	1,0	200 : 1
4	$1 \times 10^{-4}$	26	6,2	1,6	20 : 1
5	$1 \times 10^{-3}$	45	3,6	1,7	2 : 1
6	$1 \times 10^{-2}$	95	2,1	1,7	1 : 5
7	$1 \times 10^{-1}$	395	0,6	1,7	1 : 50

Значимое торможение с последующим достижением максимальной скорости процесса начинается при соотношениях катали-

затора и капотена 1:1 и усиливается при соотношениях 1:5 и 1:50. Очевидно, что в этих условиях происходит нейтрализация катализатора за счет его восстановления в  $\text{Cu}^{1+}$ . При большом избытке капотена восстановление  $\text{Cu}^{2+}$  в  $\text{Cu}^{1+}$  происходит быстрее, наблюдается эффективное торможение процесса окисления.



**Рисунок 3. Кинетика накопления гидропероксидов при автоокислении МО в присутствии АО: 1 — контроль, 2 — капотен. Стрелкой показан ввод АО.  $C_{(AO)} = 2 \times 10^{-4} \text{M}$ ,  $t = 60^{\circ} \text{C}$**

Для подтверждения гипотезы о возможном разрушении гидропероксидов под действием капотена, был проведен эксперимент по прямому тестированию кинетики накопления гидропероксидов (ROOH) после введения капотена в частично окисленный субстрат (время эксперимента 8 часов). В течение первого часа (рис. 3) наблюдалось снижение концентрации гидропероксидов, в контрольном опыте ROOH продолжали накапливаться. Установлено, что все исследуемые добавки капотена способствовали разрушению гидропероксидов на 50—75 %.

Сопоставление результатов двух методов (манометрического, йодометрического) показывает, что максимальное снижение начальной и максимальной скорости окисления происходило в присут-

ствии капотена при концентрации  $(1-10) \times 10^{-4}$  М. Таким образом, указанные методы адекватно оценивают свойства исследуемого соединения и позволяют полагать, что разрушение гидропероксидов под действием капотена осуществлялось нерадикальным путем, поскольку вторичного инициирования процесса не наблюдалось.

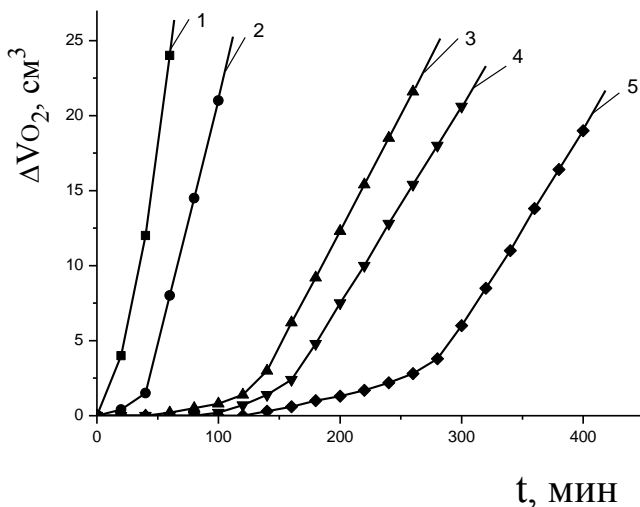
**Таблица 4.**

**Кинетические параметры окисления метиллинолеата в растворе хлорбензола в присутствии  $6 \times 10^{-3}$  М АИБН в зависимости от концентрации  $\alpha$ -токоферола и дибунола,  $t = 60^\circ\text{C}$**

№ п/п	[InH], М	$\tau$ , мин	$W_{\text{нач.}} \times 10^{-8}$ , М $\times$ с $^{-1}$	$W_{\text{max.}} \times 10^{-7}$ , М $\times$ с $^{-1}$
I	Контроль МЛ	15	4,3	2,6
II	<b><math>\alpha</math>-токоферол</b>			
1	$1 \times 10^{-8}$	17	4,3	2,3
2	$1 \times 10^{-7}$	20	3,6	2,0
3	$1 \times 10^{-6}$	35	2,5	1,9
4	$1 \times 10^{-5}$	44	2,3	1,8
5	$1 \times 10^{-4}$	67	1,1	1,8
6	$5 \times 10^{-4}$	120	0,5	2,0
7	$1 \times 10^{-3}$	350	0,6	1,7
8	$1 \times 10^{-2}$	405	0,5	1,8
9	$1 \times 10^{-1}$	420	0,2	1,8
III	<b>дибунол</b>			
1	$1 \times 10^{-6}$	35	4,3	2,5
2	$1 \times 10^{-5}$	45	3,4	2,4
3	$2 \times 10^{-5}$	80	2,8	2,2
4	$5 \times 10^{-5}$	140	2,4	2,2
5	$1 \times 10^{-4}$	170	2,1	2,1
6	$2 \times 10^{-4}$	190	1,9	2,0
7	$5 \times 10^{-4}$	280	1,7	1,9
8	$8 \times 10^{-4}$	590	1,6	1,9
9	$1 \times 10^{-3}$	650	1,6	1,8

Для доказательства свободно-радикального механизма каталитического окисления липидного субстрата использован метод ингибиторов. Проведено исследование закономерностей окисления метиллинолеата в присутствии добавок стационарных ингибиторов окисления дибунола и  $\alpha$ -токоферола. По результатам эксперимента рассчитаны кинетические параметры окисления субстратов. Установлен идентичный характер кинетических кривых окисления

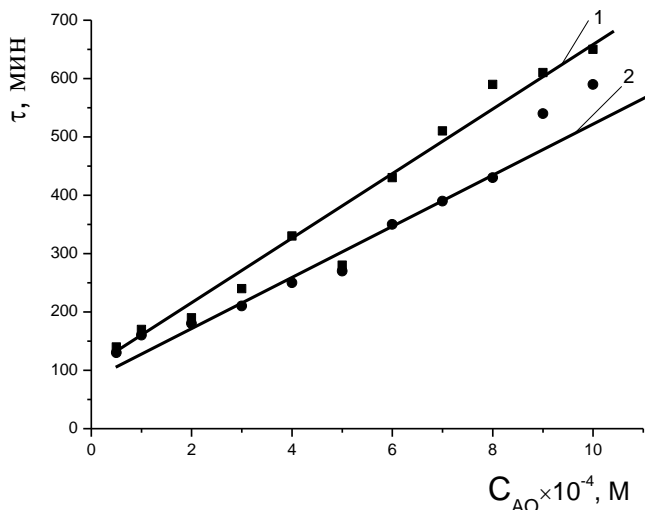
липидного субстрата в растворе хлорбензола в присутствии  $6 \times 10^{-3}$  М инициатора и водно-липидной системе в присутствии  $2 \times 10^{-3}$  М хлорида меди при равных концентрациях дибунола.



**Рисунок 4. Кинетика окисления метиллинолеата в присутствии добавок дибунола в водно-липидной среде, М: 1 — контроль, 2 —  $1 \times 10^{-5}$ , 3 —  $5 \times 10^{-5}$ , 4 —  $1 \times 10^{-4}$ , 5 —  $5 \times 10^{-4}$ ,  $2 \times 10^{-3}$  М  $\text{CuCl}_2$ ,  $t=60^\circ \text{C}$**

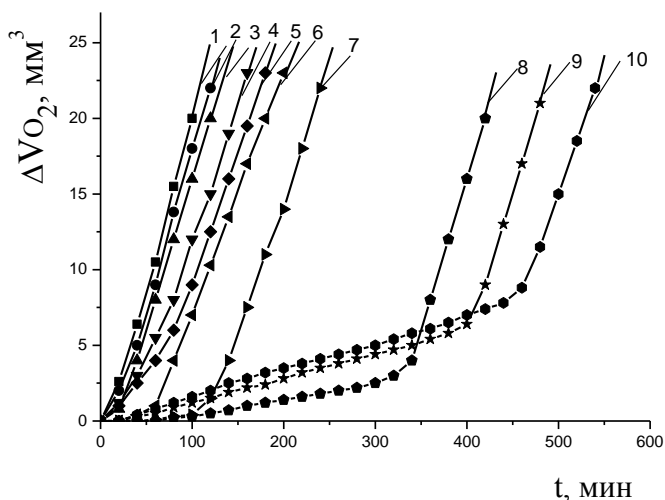
На рис. 4 показано, что в водно-липидной среде дибунол проявляет себя как сильный ингибитор: наблюдается период полного торможения, период аутоускорения и достижение максимальной скорости окисления. Периоды индукции увеличиваются пропорционально увеличению концентрации дибунола (табл.4). Наличие торможения в присутствии добавок дибунола является признаком радикально-цепного механизма процесса, а отсутствие комплексобразующей способности с катионами меди из-за экранированности двумя *трет*-бутильными заместителями его донорно-акцепторного центра. По наклону прямой в координатах  $\tau_i, [\text{InH}]$  была рассчитана скорость иницирования в обеих системах, получены значения  $4,8 \times 10^{-8}$  и  $1,9 \times 10^{-5} \text{ М} \times \text{с}^{-1}$  в безводной и водно-липидной среде соответственно (рис.5). Сравнение максимальных скоростей окисления липидных субстратов в безводной и водно-липидной средах равных

$2,6 \times 10^{-7}$  и  $2,6 \times 10^{-4} \text{ M} \times \text{c}^{-1}$  соответствует различию скоростей инициирования в 1000 раз.



**Рисунок 5. Зависимости периода индукции от концентрации дибутила в безводной среде в присутствии  $6 \times 10^{-3} \text{ M}$  АИБН (1) и в водно-липидной среде в присутствии  $2 \times 10^{-3} \text{ M}$   $\text{CuCl}_2$  (2), субстрат окисления МЛ,  $t=600\text{C}$**

Известно, что  $\alpha$ -токоферол характеризуется чрезвычайно высокой константой скорости реакции с пероксильными радикалами  $k_7 = (3,3-3,5) \times 10^6 \text{ M}^{-1} \times \text{c}^{-1}$ , что на два порядка превышает аналогичные константы скорости для дибутила  $k_7 = 2,6 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \times \text{c}^{-1}$  [2]. Между тем вопрос о роли  $\alpha$ -токоферола в биомембранах далек от своего решения. Известен сложный механизм действия  $\alpha$ -токоферола в безводных углеводородных и липидных субстратах, его участие не только в реакциях обрыва цепей, но и реакциях продолжения цепей и распаде гидропероксидов. Последние реакции приводят к снижению антиоксидантной активности  $\alpha$ -токоферола.



**Рисунок 6. Кинетика окисления метиллинолеата в присутствии добавок  $\alpha$  — токоферола в растворе хлорбензола, М :**  
**1 — контроль, 2 —  $1 \times 10^{-8}$ , 3 —  $1 \times 10^{-7}$ , 4 —  $1 \times 10^{-6}$ , 5 —  $1 \times 10^{-5}$ ,**  
**6 —  $1 \times 10^{-4}$ , 7 —  $5 \times 10^{-4}$ . 8 —  $1 \times 10^{-3}$ , 9 —  $1 \times 10^{-2}$ ,**  
**10 —  $1 \times 10^{-1}$ , АИБН  $6 \times 10^{-3}$  М,  $t = 60^{\circ}$  С**

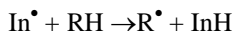
Антиоксидантную активность  $\alpha$ -токоферола в нашем эксперименте оценивали по характеру изменения кинетических параметров по сравнению с дибунолом, для которого установлен механизм ингибирования процесса окисления в углеводородах за счет только реакций обрыва цепей [4, 5]. Анализ кинетических кривых окисления метиллинолеата показал существенные отличия механизма действия  $\alpha$ -токоферола от дибунола в зависимости от концентрации.

КК окисления метиллинолеата в безводной среде в присутствии ( $1 \times 10^{-8}$ — $1 \times 10^{-5}$ ) М  $\alpha$ -токоферола имеют аутоускоренный характер без периода полного торможения (рис. 6). В этом интервале концентраций начальные скорости тем меньше, чем больше добавки  $\alpha$ -токоферола, при всех концентрациях достигается одинаковая максимальная скорость. Период полного торможения появляется только при концентрациях  $1 \times 10^{-4}$  и  $5 \times 10^{-4}$  М и меняется пропорционально концентрации. При дальнейшем повышении концентрации  $\alpha$ -токоферола увеличивается начальная скорость окисления, сокра-

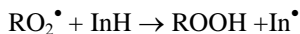


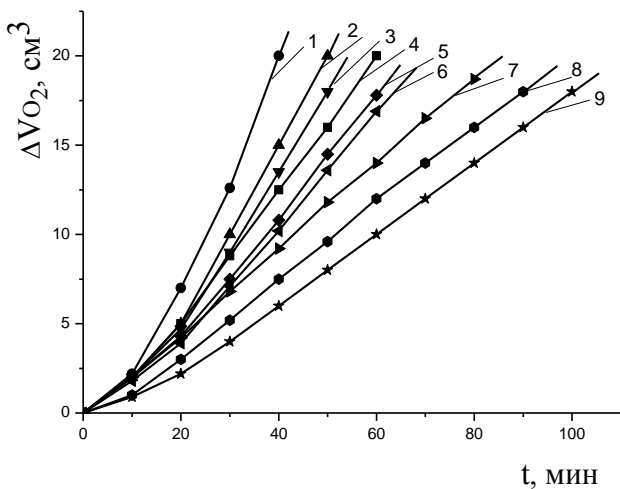
щается период полного торможения, максимальная скорость достигается тем позже и при более высоких концентрациях поглощенного кислорода, чем выше концентрация  $\alpha$ -токоферола. Результаты расчета начальной  $W_{\text{нач.}}$ , максимальной  $W_{\text{max.}}$  скоростей и периода индукции приведены в табл.4. Из табл.4 видно сохранение близких  $W_{\text{max.}}$ . При концентрациях  $\alpha$ -токоферола от  $1 \times 10^{-7}$  до  $1 \times 10^{-1}$  М и десятикратное снижение  $W_{\text{нач.}}$ . Представленные результаты свидетельствуют о сложном механизме действия  $\alpha$ -токоферола в безводном растворе МЛ, об его участии не только в реакциях обрыва, но и реакциях продолжения цепей.

На рис. 7 показано, что  $\alpha$ -токоферол в водно-липидной среде проявлял слабые антиоксидантные свойства, в концентрациях свыше  $1 \times 10^{-3}$  М промотировал процесс окисление липидных субстратов, при концентрации  $1 \times 10^{-8}$  М  $\alpha$ -токоферол незначительно уменьшал максимальную скорость, без заметного влияния на начальные стадии окисления. Таким же образом влияли добавки  $1 \times 10^{-7}$  и  $1 \times 10^{-6}$  М  $\alpha$ -токоферола. В присутствии  $1 \times 10^{-5}$  и  $1 \times 10^{-4}$  М  $\alpha$ -токоферола наблюдалось замедление начальных стадий окисления и уменьшение максимальной скорости (табл. 5). Причиной ускорения процесса может быть комплексобразование ОН-группы  $\alpha$ -токоферола с катионами меди. В процессе окисления  $\alpha$ -токоферол образует достаточно активные токофероксильные радикалы ( $\text{In}^\bullet$ ), способные участвовать в побочных реакциях продолжения цепей с молекулами субстрата (RH) [2]:



В результате этой реакции восстанавливается активная фенольная форма антиоксиданта, взаимодействующая в дальнейшем с пероксильными радикалами, ведущими цепи окисления:





**Рисунок 7.** Кинетика окисления метиллинолеата в водно-липидной среде в присутствии добавок  $\alpha$ -токоферола,  $M$ : 1 —  $1 \times 10^{-1}$ , 2 —  $1 \times 10^{-2}$ , 3 —  $1 \times 10^{-3}$ , 4 — контроль, 5 —  $1 \times 10^{-8}$ , 6 —  $1 \times 10^{-7}$ , 7 —  $1 \times 10^{-6}$ , 8 —  $1 \times 10^{-5}$ , 9 —  $1 \times 10^{-4}$ ;  $2 \times 10^{-3} M CuCl_2$ ,  $t=60^\circ C$

**Таблица 5.**

**Кинетические параметры окисления метиллинолеата в водно-эмульсионной среде в присутствии  $2 \times 10^{-3} M CuCl_2$  в зависимости от концентрации  $\alpha$ -токоферола и дибунола,  $t=60^\circ C$**

№ п/п	[InH], M	$\tau$ , мин	$W_{нач.} \times 10^{-5}, M \times c^{-1}$	$W_{max.} \times 10^{-4}, M \times c^{-1}$
I	Контроль МЛ	5	14,4	2,6
II	<b><math>\alpha</math>-токоферол</b>			
1	$1 \times 10^{-8}$	10	14,0	2,1
2	$1 \times 10^{-7}$	15	11,0	2,1
3	$1 \times 10^{-6}$	20	9,7	1,9
4	$1 \times 10^{-5}$	25	6,8	1,8
5	$1 \times 10^{-4}$	35	5,2	1,4
6	$1 \times 10^{-3}$	15	14,6	3,2
7	$1 \times 10^{-2}$	6	15,7	3,4
8	$1 \times 10^{-1}$	5	16,8	5,7

Ш	дибунол			
1	$1 \times 10^{-6}$	30	13,8	2,5
2	$1 \times 10^{-5}$	40	12,7	2,3
3	$2 \times 10^{-5}$	75	9,8	2,1
4	$5 \times 10^{-5}$	130	5,0	1,9
5	$1 \times 10^{-4}$	160	4,1	1,8
6	$2 \times 10^{-4}$	180	3,8	1,7
7	$5 \times 10^{-4}$	270	3,1	1,6
8	$8 \times 10^{-4}$	430	2,3	1,6
9	$1 \times 10^{-3}$	590	1,9	1,5

В целом, результаты настоящего исследования свидетельствуют о сложном механизме действия капотена на процесс окисления липидных субстратов. Показана возможность участия капотена в реакциях инициирования, продолжения, обрыва цепей, распада гидропероксидов и восстановления катализатора в неактивную форму. Полученные данные могут представлять интерес с точки зрения расширения спектра фармакологического действия капотена и быть методологической основой для разработки новых подходов оценки взаимодействия антиоксидантов с компонентами клетки.

#### **Выводы:**

1. Установлено, что синтетический ингибитор окисления дибунол в двух кинетических моделях в безводной и водно-липидной средах превосходит по своему действию природный антиоксидант  $\alpha$ -токоферол.

2. Выявлена высокая антиоксидантная активность капотена в водно-липидных катализируемых субстратах, превышающая ингибирующие свойства  $\alpha$ -токоферола и уступающая активности дибунола.

3. Установлено, что капотен в процессе окисления разрушает гидропероксиды молекулярным путем. Вероятно, что способность разрушения гидропероксидов капотеном связана с наличием меркаптогруппы.

Разработанный способ тестирования биоантиоксидантов (капотена) волюмометрическим методом с использованием каталитического окисления водно-липидных субстратов был внедрен в НИИ клинической и профилактической кардиологии СО РАМН.

### Список литературы:

1. Бурлакова Е.Б. Молекулярные механизмы действия антиоксидантов при лечении сердечно-сосудистых заболеваний // Кардиология. — 1980. — № 8. — С. 48—52.
2. Бурлакова Е.Б., Крашаков С.А., Храпова Н.Г. Кинетические особенности токоферолов как антиоксидантов. Черногородка, 1992. — 56 с.
3. Владимиров Ю.А., Суслова Т.Б., Оленев В.И. Митохондрии. Транспорт электронов и преобразование энергии. М.: Наука, 1976. — 109 с.
4. Денисов Е.Т. Элементарные реакции ингибиторов окисления // Успехи химии. — 1973. — Т. 42. — № 3. — С. 361—390.
5. Денисов Е.Т. Константы скорости гомолитических жидкофазных реакций. М.: Наука, 1971. — 711 с.
6. Суслова Т.Б., Владимиров Ю.А. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах // Биологические мембраны. М. — 1973. — С. 75—93.
7. Перевозкина М.Г. Каталитическое окисление липидов в водных растворах в присутствии солей металлов переменной валентности // Матер. 35-й Всерос. науч. конф. «Актуальные проблемы теоретической, экспериментальной, клинической медицины и фармации». Тюмень. 2001. — С. 55—57.
8. Перевозкина М.Г. / Перевозкина М.Г., Тихонова В.В., Кадочникова Г.Д., Иоанидис Н.В., Киршинбаум И.Р., Шафер М.Ж., Ушкалова В.Н. / Физико-химические закономерности окисления липидных субстратов под действием гипотензивных препаратов // В сб.: Свободно-радикальное окисление липидов в эксперименте и клинике. Тюмень, Из-во Тюм.ГУ. 1997. — С. 104—113.
9. Ушкалова В.Н., Перевозкина М.Г., Барышников Э.В. Разработка способа тестирования средств антиоксидантотерапии // В сб.: Свободно-радикальное окисление липидов в эксперименте и клинике. Тюмень, Из-во Тюм.ГУ. 1997. — С. 77—82.
10. Van Hook I.P., Tobolsky A.U. The thermal decomposition of 2,2'-azo-bis-isobuthironitril // J.Amer.Chem.Soc. — 1958. — V. 80. — № 4. — P. 779—782.

**СЕКЦИЯ 6.  
НАУКИ О ЗЕМЛЕ**

**6.1. ОБЩЕСТВЕННАЯ ГЕОГРАФИЯ**

**МЕТОД ТОПОНИМИЧЕСКОГО  
КОНТЕКСТА К.Н. ТИЩЕНКО  
В ГЕОГРАФИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ  
ТОПОНИМИЧНО-КУЛЬТУРОЛОГИЧЕСКОГО  
КОМПЛЕКСА  
ЧЕРНИГОВСКОЙ ОБЛАСТИ УКРАИНЫ**

*Армашевская Татьяна Владимировна*  
*аспирант кафедры географии Украины, КНУ имени Т. Шевченка,*  
*г. Киев*  
*E-mail: [tanyaav@meta.ua](mailto:tanyaav@meta.ua)*

**THE METHOD OF TOPONYMICAL CONTEXT  
BY K.N. TISHCHENKO IN THE GEOGRAPHICAL  
ANALYSES OF THE TOPONIMIC-CULTURAL  
AGGREGATE OF CHERNIGIV REGION OF UKRAINE**

*Armashevska Tatiana*  
*graduate student, Department of Geography of Ukraine,*  
*Kiev National University named after Taras Shevchenko,*  
*Kiev*

**АННОТАЦИЯ**

В статье анализируется топонимично-культурологический комплекс Черниговской области. Выделены закономерности происхождения топонимов в пределах региона. Лингвистическая природа географических названий является неотъемлемой частью связи

топонимики с языковедением. Обоснована важность использования метода топонимического контекстирования К.Н. Тищенко при исследовании территории.

### ABSTRACT

In the article we analyzed a toponimic-cultural aggregate of Chernigiv region, emphasized a regularities of spreading the geographic names of the region. A linguistic nature of the geographical names is an integral part of connection between toponymic and Linguistics. Substantiated the importance of using the method of toponymical context by K.N. Tishchenko in the investigated area.

**Ключевые слова:** топонимично-культурологический комплекс; топоним; ойконим; метод топонимического контекста К.Н. Тищенко.

**Keywords:** toponimic-cultural aggregate; toponym; the method of toponymical context by K.N. Tishchenko.

**Введение.** Топонимическая наука сегодня отличается поисками новых исследовательских аспектов. Она возникла на стыке нескольких дисциплин. Одним из направлений в работе топонимистов выступает региональная топонимика, которая связана с лингвокраеведением. Предмет исследования топонимики — закономерности происхождения, формирования и развития как отдельных географических названий, так и топонимических систем (далее топонимично-культурологический комплекс). Географические названия служат серьезным дополнением к документальным справочникам о прошлых веках. Топонимы — обязательный элемент развития общества и человечества. Они имеют пространственную привязку, что отражает комплексные характеристики природы той или иной территории.

**Цель.** Географический анализ топонимично-культурологического комплекса Черниговской области с использованием метода топонимического контекста, предложенного К.Н. Тищенко, конкретизируется с помощью поставленных **задач:** обосновать важность использования данного метода при исследовании Черниговской области; выделить закономерности распространения топонимов; изучить топонимично-культурологический комплекс территории.

**Предмет.** Закономерности распространения топонимов исследуемой территории, их связь с физико-географическими, социально-экономическими и другими процессами. **Объектом** выступает топонимично-культурологический комплекс Черниговской области.

**Методы.** Метод топонимического контекста К.Н. Тищенко, географический метод, сравнительный анализ, исторический метод.

**Основное содержание.** Метод топонимического контекста состоит в [поиске языкоисторической информации о топониме с его ближнего топонимического контекста] данный кусок *очень тяжело воспринимается по-русски, на укр.яз. звучит лучше, предлагаемый вариант замены:* ...поиске семантических связей между соседними географическими названиями как членами топонимической системы. Одним из достижений фронтальных студий европейской топонимии по этому методу стало выявление месопотамского тематического фрактала Украины [2]. Центром этого фрактала является сотня топонимов от эламских глагольных основ с редупликацией, как например, Тетильковцы, р. Бебелька, Попелы, Кукильники, Кокорев, Хухра, Кокошинцы, Кукшин: от эламс. *tatallu* 'писать', *bebla* 'господствовать', *perli* 'основывать', *kukla* 'молиться', *kukuga* 'устраивать', *hahadu* 'собирать урожай', *kakza* 'ковать', *kuksi* 'отстраивать'. Общей чертой топонимических систем славянских земель является повторяемость стереотипных контекстов — значение единственной истории их формирования. В рядах однокорневых названий встречаются периферийные архаические формы, близкие к прототипам и одновременно похожие на хуже сохранные названия.

Географические названия имеют лингвистическую природу. Поэтому существует тесная связь топонимики с языковедческими науками: ономастикой (наукой о возникновении и распространении собственных имен); исторической лингвистикой; этимологией (наукой, изучающей происхождения слов); семантикой; морфологией и диалектологией. С точки зрения лингвокраеведения, слово, как единица языка, выступает источником национально-культурной информации, накопленной человечеством. Она несет в себе знания о действительности, присущие национальному сознанию. Национально-культурная информация присутствует во многих группах слов: историзмах, но в большей степени ею владеют имена собственные — топонимы. В этом смысле топонимы это не простые термины географии: они владеют яркими культурными компонентами в своей семантике, выступая частью культуры и социального состояния страны в определенную эпоху. Будучи географическим ориентиром, топонимы параллельно исполняют еще одну функцию — «аккумулятивную» или «аккумулятивно-страноведческую».

Таким образом, отталкиваясь от истории, можем исследовать географические названия, в которых отображается комплексная характеристика природных объектов, их расположение, хозяйственная деятельность, названия народов, племен, традиции и т. п.

Возникновение географических названий обусловлено рядом важных общественно-познавательных факторов, что является собой диалектическое единство. Поэтому их изучение должно основываться на комплексном подходе, что предусматривает задействование результатов исследований многих наук.

Получить информацию о географическом названии без использования лингвистических методов невозможно. Лингвистика «находит корень собственного географического названия и, что важно, слово, от которого это название сформировано». Значение лингвистических данных особенно познавательно для реконструкции древних периодов истории, в тех случаях, когда отсутствуют другие источники информации.

При изучении смысла топонимов не менее важное место принадлежит географии, рассматривающей название, созданное человеком, с помощью субъективных образов существующего мира. Исследователь обращается к социальному миру реальностей, в котором фиксируются все изменения, созданные человеком. Содержание топонимов показывает очень точные географические характеристики: особенности ландшафта, принципы заселения человеком территории, богатства природы и другие географические характеристики пространства.

Метод топонимического контекста К.Н. Тищенко, как лингво-исторический инструмент, призван расшифровать названия, когда географический подход бессилён. Таким образом, было определено существование топонимической системы эламской языковой принадлежности в пределах Черниговской области. Топонимические системы всегда принадлежат одному языку. Если на территории проживают носители разных языков, то можно говорить о сосуществовании на этой территории нескольких топонимических систем, которые «накладываются» друг на друга. Используя метод топонимического контекстирования К.Н. Тищенко при анализе Черниговской области имеем следующее:

1. Названия от редуцированных оснований: КУКОЛка = КУКИЛка, КЫКОлы (КУЛЬкивка), р.КОКУТка, с.БОБР.ОВЫЩя, БОБРЫк, БОБРуйкы, БАБАРЫкы, р. КУК.ОВЫЧИ, КУКШИн (возле КОШеливка), ПОЧЕЧИно, ПаТЮТЫ (от эламского *kukla* молиться, *kukti* защищать, *rePra* читать, *kuksi* отстраивать, *kekla* командовать, *tuTni* давать).

2. Сопроводительные названия от возможных эламских реалий: АДАМивка элам. *Adamdun* < *Natamti* 'Элам'; ХОВМы эламс. *halmi* табличка, письмо, печатка; Ушня дперс. *huzi* эламский, ГУСавка ^



ДОМНыця элам. *duman* ‘собственность, усадьба’; МАКЫШин элам. *makus mag*; р. НЕГРиев лат. *Niger* черный; БИЛоус *Bel + huz-*, КОЗеРОГИ + *Para*, ТОПЧиевка *turpika* свободный; ЛЕМеши элам., КОЗелець элам. *kazzai* ковать.

3. Основания от других реалий древнего Ближнего Востока: ХЫБАЛивка акк. *Gebal* Бібл/ гора, КОВТУНивка (Экбатаны), ЧЕМЕР, ГМЫРянка акк. *gimirai*, РОМАНИвщина акк. *gamani* “частный; что принадлежит кому-то”, ур. МЕДИНщина под с. Безугловка, ИВАНГород Еанна, КУНАШивка, КЫНАШИВКА акк. кинах финикиец, САПОНовка, САПОНова акк. *safoṇ* север, Омбыш г. *Ombos* в Египте, ЛюбоМУДРовка дперс. *Mudraya* Египет [2].

Но при отсутствии достаточных исторических сведений нет возможности установить значение многих древних названий (лингвистическое этимологизирование не дает полного решения), даже тогда, когда сам язык хорошо известен. История в таких случаях, замечает Ю. Карпенко, может подсказать этимологу сферу поиска, запроектировать, например, перечень языков, исторично возможных на этих территориях, познакомить с духом времени, социальной и этнической структурой населения, что нередко позволяет реконструировать забытую микро-историю возникновения конкретного географического названия [3]. Именно в этом состоит повышенная роль внеязыкового фактора собственных имен, прежде всего в топонимике.

Составной частью общественно-географического комплекса определенной территории выступает топонимично-культурологический комплекс. Под топонимично-культурологическим комплексом понимаем совокупность названий географических объектов взаимодействия человека и природы в процессе культурно-исторического развития. Исследование топонимично-культурологического комплекса не исключает изучения отдельно взятого названия, но требует учета связей, в которых состоит каждое название как составной элемент общественно-географического комплекса территории. Поэтому, кроме языковедения, топонимия осваивается еще целым рядом наук: географией, историей, археологией, этнографией и т. д.

В смысловом контексте территория Черниговской области насыщена историческими фактами. Поэтому, топонимы — инструмент разъяснения информации в ретроспективном анализе. Возникает потребность группирования географических названий. По происхождению ойконимы (названия населенных пунктов) области делятся на несколько групп.

Наиболее распространенная — это антропонимы, то есть те, которые возникли от антропонимов — фамилий, имен первых жителей (35,1 % от всех исследованных ойконимов региона). Используя антропонимы, можно определить кто жил на этой территории по социальному состоянию, этнической принадлежности, выдающиеся личности и т. д.

Топонимы позволяют определить социально-экономическую среду обитания населения. Такие сведения предоставляет группа ойконимов, указывающая на производственный процесс, род деятельности. В пределах области они составляют 28,5 % (от всех исследованных ойконимов региона). Например, населенные пункты типа Рудня, Гута, Буда, а также Папирня, Пушкари, Олиньки, Бондари. Конечно же, их распространение связано с географическими условиями. Северная часть Черниговской области находится в зоне смешанных лесов, южная часть — в зоне лесостепи. И это отображено в ойконимах производственного характера. Северные, северо-западные районы области отличаются заболачиванием, и были сырьевым фактором строительства рудень. В начале XX века рудни исчезли, но при этом оставили о себе память в названиях населенных пунктов. Географические названия области указывают и на производство стекла. Так называемые гуты — стеклянные заводы — находились в районах распространения песчаных отложений. Поэтому, ойконимы данной группы дают возможность проследить не только развитие производства стекла, но и литологию отложений. Примерами таких пунктов являются: Туманська Гута, Лошакова Гута — Козелецкого района; Гута Ткачова, Червона Гутка — Репкинского; Гутьще — Сосницкого; Гута Студэнэцька — Щёрского районов.

Третью группу формируют ойконимы, определяющие лесистость территории. На севере области находятся такие населенные пункты как: Дибровнэ (Щёрский район), Лисовэ (Менский район), Зэлэнэ (Городнянский район), Внутришний Бир (Семеновский район). Тогда, как на юге — Стэповэ (Сребнянский район), Стэп (Нежинский район), Зеленый Гай (Талалаевский район) и другие. Выше перечисленные названия свидетельствуют о размещении Черниговской области в пределах двух природных зон: смешанных лесов на севере и лесостепи на юге. Поэтому, больше тех ойконимов, которые связанные с лесистостью, что прослеживается именно на севере региона.

Четвертую группу формируют ойконимы фитонимичного происхождения. Они дают ведомости о породах деревьев, растений. Например, Осокоривка, Бэризка, Тростянка (Бобровицкий район

Черниговской области); Лыпив Риг, Бэрэзанка (Нежинский район Черниговской области), Калынивка (Носовский район Черниговской области).

В древние времена люди часто селились возле водных объектов, названия которых легли в основу названий населенных пунктов. К таким ойконимам относятся: Чысти Лужи, Замглай (Репкинский район Черниговской области), Новый Билоус (Черниговский район), Оболоння (Коропский район Черниговской области). Например, название пгт. Замглай происходит от одноименной реки и заболоченной местности. В ее основе — древнерусское «мгла», что означает туман, который всегда стоял над здешними болотами [1]. В Бобровицком районе протекает река Вэпры, на берегу которой находится пгт. Вэпрык. От одноименного ручья, ныне почти высохшего, сформировалось название с. Рипкы (райцентр Черниговской области) [3].

**Выводы.** Топонимично-культурологический комплекс исследованной территории разнообразен. Ойконимия (совокупность ойконимов территории) данного региона зависит от физико-географических, социально-исторических особенностей территории. Выделено шесть основных групп ойконимов за происхождением. Наиболее количественная группа антропонимов (35,1 % от всех исследованных) и группа, что указывает на производственный характер (28,5 % от всех исследованных). Таким образом, природные характеристики большей мерой влияли на производственный процесс территории смешанных лесов, нежели лесостепи. Формирование названий южной части Черниговской области имело социальное происхождение, что подтверждается преобладанием ойконимов антропонимичного происхождения и теми видами деятельности, которые мало связаны с природными особенностями. Ойконимы, связанные с лесистостью, информируют о существовании тех или иных типов лесов. Поскольку топонимика сформировалась на стыке многих наук, то отбрасывать лингвистические методы невозможно. Метод контекстирования К.Н. Тищенко направлен на [поиск языкоисторической информации о топониме с его ближнего топонимического контекста] данный кусок *снова предлагается заменить на:* ...поиск семантических связей между соседними географическими названиями как членами топонимической системы. Это позволило выделить топонимично-культурологический комплекс с эламской языковой принадлежностью в пределах Черниговской области, что свидетельствует о связи с эламским миром. Можем говорить о существовании в пределах Черниговской области двух

топонимично-культурологических систем: эламской, а также древней индоевропейской языковой принадлежности. Эти системы накладываются одна на другую, формируя топонимично-культурологический комплекс региона.

### **Список литературы:**

1. Сапон В.М. Таємниці назв наших міст і сіл / Управління: КП Видавництво "Чернігівські береги", 2005. — 62 с.
2. Тищенко К.Н. Перська сатрапія над Дніпром: топонімічні контексти. К.: НТУУ КПІ, 2012. — 119 с.
3. Янко М.Т. Топонімічний словник України: словник-довідник. К.: Знання, 1998. — 432 с.

## **ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГРАНИЦ НИЖНЕВАРТОВСКОГО РАЙОНА (ЮГРА)**

*Соколов Сергей Николаевич*

*д-р геогр. наук, профессор НВГУ,  
г. Нижневартовск*

*E-mail: [snsokolov1@yandex.ru](mailto:snsokolov1@yandex.ru)*

## **ECONOMIC-GEOGRAPHICAL ASSESSMENT OF THE BORDERS OF THE NIZHNEVARTOVSK DISTRICT (YUGRA)**

*Sergey Sokolov*

*doctor of geographical sciences, professor  
of Nizhnevartovsk State University,  
Nizhnevartovsk*

### **АННОТАЦИЯ**

Целью данной статьи является характеристика экономико-географического положения Нижневартовского района в системе соседних административных районов страны. Рассчитывается показатель проницаемости границ между данным районом и его соседями.

Данный район имеет общую границу с 7 районами — соседями первого порядка и с 21 районами второго порядка, в том числе с 5 «дважды» соседями второго порядка. Дается характеристика соседних районов 1-го порядка. Делается вывод, что антиподами изучаемого района являются два, аналогами — пять соседних районов 1-го порядка.

### ABSTRACT

The aim of this article is characteristic of the geographical location of the Nizhnevartovsk region in the system of neighboring administrative regions of the country. Indicator is calculated permeability of borders between the area and its neighbors. This region has a common border with 7 regions - neighbors of the first order and 21 districts of the second order, including 5 «twice» neighbors of the second order. Is a characteristic of the neighboring districts of the 1st order. It concludes that the antipodes of the area studied are two analogs - five neighboring districts of the 1st order.

**Ключевые слова:** экономико-географическое положение; показатель проницаемости границ; соседи 1-го и 2-го порядка.

**Keywords:** economic and geographical position; measure of permeability of borders; and neighbors of the 1st and 2nd order.

Основными пространственными характеристиками территории являются площадь и расстояние, как мера удаленности географических объектов или структур друг от друга [1]. Через преодоление расстояния происходит реализация географических связей и соответственно интеграционных процессов, что отражается в экономико-географическом положении (ЭГП) регионов. Поэтому необходимы анализ и оценка региональных факторов общественного функционирования, использование которых позволит резко повысить динамичность социально-экономических процессов.

Площадь Нижневартовского района составляет 117 841,36 км<sup>2</sup>, что составляет 22 % территории Ханты-Мансийского автономного округа — Югры. Нижневартовский район — один из важнейших индустриальных центров страны, основу его промышленности составляют предприятия топливно-энергетического комплекса. Объем нефти, извлекаемой из недр Нижневартовского района, составляет около 13 % всей нефти, добываемой в Российской Федерации [8].

Рассмотрим ЭГП Нижневартовского района в системе соседних административных районов России. Нижневартовский район граничит на севере с Пуровским и Красноселькупским районами Ямало-Ненецкого автономного округа, на западе — с Сургутским районом

Ханты-Мансийского автономного округа — Югры, на юге — с Александровским и Каргасокским районами Томской области, на востоке — с Енисейским и Туруханским районами Красноярского края. Общая протяженность границ района составляет 2100 км, в том числе с районами Ханты-Мансийского АО — Югры — 638 км, Томской областью — 637 км, Ямало-Ненецким АО — 579 км, Красноярским краем — 246 км.

Отмечая важность соседства, И.М. Маергойз [3, с. 39] предлагает считать совокупность соседства 1-го и 2-го порядка региональным ЭГП, и, кроме того, ограничить соседским положением 1-го и 2-го порядков анализ взаимосвязанности территориальных структур и ЭГП стран и регионов. Главный смысл соседства, с точки зрения экономической и социальной географии, заключается в возможности непосредственного взаимодействия районов смежных территориальных систем, а через них — территориальных структур хозяйства и инфраструктуры соседних регионов в целом [9]. Следствием этого является существенное значение соседства для интеграционных процессов, а интеграция, в свою очередь, стимулирует развитие приграничных районов. При оценке степени соседства учитываются две его взаимосвязанные стороны — дистанционная (расстояние как мера близости) и топологическая (мера взаимодоступности регионов между собой, регулируемой границами).

Рассчитаем проницаемость границ между Нижневартовским районом и его соседями. Показатель проницаемости границ между  $i$  и  $j$  районами определяется по следующей формуле [4]:

$$R_{ij} = \frac{10}{l_{ij}} (2q_{ij} + a_{ij} + 0,5v_{ij}) \quad (1)$$

где:  $l_{ij}$  — длина границы между районами;

$q_{ij}$ ,  $a_{ij}$ ,  $v_{ij}$  — число пересечений границы между районами соответственно железными, автомобильными дорогами, водными путями.

Данные расчета сведем в таблицу 1.

Почти половина длины границы приходится на Сургутский и Александровский районы. Только с тремя районами показатель проницаемости отличается от нуля, причем наиболее проницаемая граница Нижневартовского района с Александровским районом Томской области. Это подтверждает факт вхождения города

Стрежевого и села Александровского в состав Нижневартовской агломерации.

*Таблица 1.*

**Проницаемость границ Нижневартовского района и его соседей**

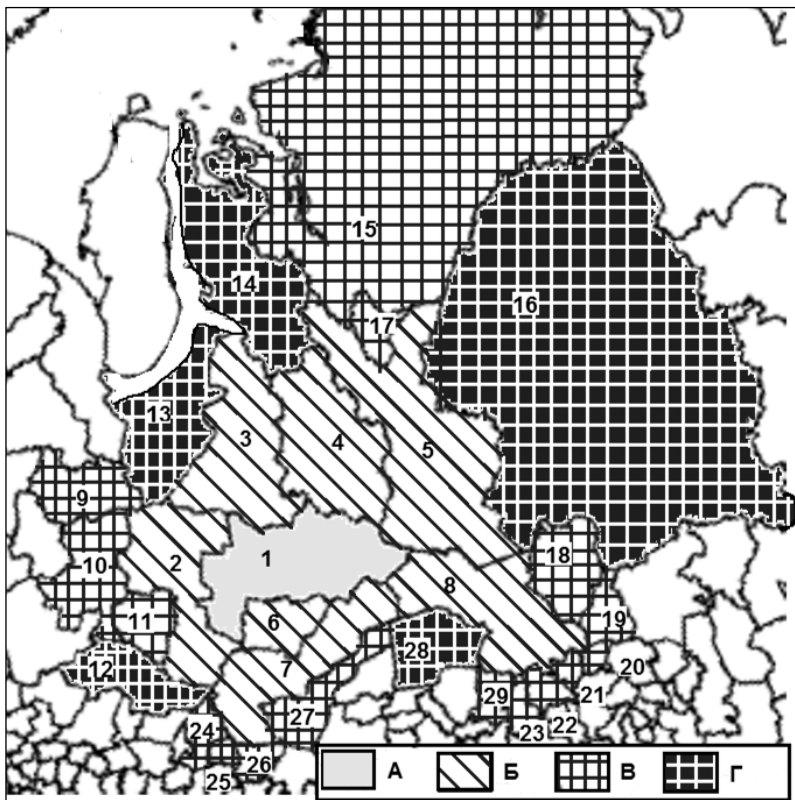
Соседние районы	Длина границ, км	Число пересечений границы			Показатель проницаемости
		железными дорогами	автодорогами	водными путями	
Пуровский	314	0	5	0	0,159
Красноселькупский	265	0	0	0	0
Туруханский	137	0	0	0	0
Енисейский	109	0	0	0	0
Каргасокский	186	0	0	0	0
Александровский	451	0	4	1	0,100
Сургутский	638	1	10	2	0,204

Нижневартовский район имеет общую границу с 7 другими районами — соседями 1-го порядка. Кроме того, он граничит с 21 районами 2-го порядка, в том числе с 5 «дважды» соседями 2-го порядка, т. е. являющимися соседями двух районов 1-го порядка (рис. 1).

Наиболее богатыми районами 1-го порядка являются Туруханский, Сургутский и Пуровский районы. Здесь объемы промышленного производства на душу населения составляют от 8 до 13 млн. рублей (2011 г.).

В Сургутском районе ОАО «Сургутнефтегаз», ОАО «ЛУКойл», ОАО НК «Роснефть» и ОАО «Газпром нефть» добывают 96 млн. т нефти ежегодно [6]. В Пуровском районе ОАО «Газпром», ОАО «НОВАТЭК», ОАО НК «Роснефть», ОАО «ЛУКойл», ежегодно добывают природный газ в размере 216 млрд. м<sup>3</sup> и нефть 26,6 млн. т. [2]. В Туруханском районе главной отраслью промышленности также является добыча нефти, которой занимается ЗАО «Ванкорнефть», дочернее предприятие ОАО НК «Роснефти», добывая ежегодно 15 млн. т. [7].

Среди районов 2-го порядка самыми крупными по площади являются Таймырский Долгано-Ненецкий и Эвенкийский районы Красноярского края, самыми маленькими — Седельниковский район Омской области и Казачинский район Красноярского края.



*Рисунок 1. Районы-соседи Нижневартовского района:  
 1 — Нижневартовский, 2 — Сургутский, 3 — Пуровский,  
 4 — Красноселькупский, 5 — Туруханский, 6 — Александровский,  
 7 — Каргасокский, 8 — Енисейский, 9 — Белоярский, 10 — Ханты-  
 Мансийский, 11 — Нефтеюганский, 12 — Уватский,  
 13 — Надымский, 14 — Тазовский, 15 — Таймырский Долгано-  
 Ненецкий, 16 — Эвенкийский, 17 — Норильск, 18 — Северо-  
 Енисейский, 19 — Мотыгинский, 20 — Казачинский,  
 21 — Пировский, 22 — Бирилюсский, 23 — Тюхтетский,  
 24 — Тарский, 25 — Седельниковский, 26 — Кыштовский,  
 27 — Парабельский, 28 — Верхнекетский, 29 — Тегульдетский;  
 А — Нижневартовский район, Б — соседи 1-го порядка,  
 В — соседи 2-го порядка, Г — «дважды» соседи 2-го порядка*



Характеристика соседних районов 1-го порядка приведена в табл. 2.

**Таблица 2.**

**Характеристика соседних районов (2011 г.)**

Районы — ближайшие соседи	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Численность населения, тыс. чел.	Плотность населения, чел./ км <sup>2</sup>	Объем промышленного производства, млрд. руб.	Административный центр	Расстояние до Нижневартовска, км
Александровский*	29,9	50,4	1,68	13,8	Александровское	91
Енисейский*	106,1	110,9	1,04	0,3	Енисейск	1420
Каргасокский	86,9	21,2	0,24	76,7	Каргасок	319
Красноселькупский	106,3	6,0	0,06	0,1	Красноселькупск	606
Пуровский*	103,3	332,6	3,22	450,8	Тарко-Сале	445
Сургутский*	105,4	492,8	4,67	973,5	Сургут	173
Туруханский	214,0	18,3	0,09	240,5	Туруханск	772

*Примечание: \* в составе Александровского района учтен г. Стрежевой, Енисейского района — г. Енисейск и Лесосибирск, Пуровского района — г. Губкинский, Муравленко, Новый Уренгой, Ноябрьск, Сургутского района — г. Когалым и Сургут*

Самым большим районом по численности населения среди районов 2-го порядка является Нефтеюганский район Ханты-Мансийского АО — Югры (210,7 тыс. чел.), самым маленьким — Тегульдетский район Томской области (6,7 тыс. чел.).

Антиподами изучаемого района являются 14 районов 1-го и 2-го порядков, в том числе 2 района 1-го порядка (Красноселькупский и Енисейский районы). Аналогами Нижневартовского района также являются 14 районов 1-го и 2-го порядков, в том числе 5 районов 1-го порядка (Пуровский, Туруханский, Каргасокский, Александровский и Сургутский районы).

## Список литературы:

1. Алаев Э.Б. Социально-экономическая география: Понятийно-терминологический словарь. М.: Мысль, 1983. — 350 с.
2. Доклад Главы муниципального образования Пуровский район о достигнутых значениях показателей для оценки эффективности деятельности органов местного самоуправления муниципального образования Пуровский район за 2011 год и их планируемых значениях на 3-летний период. [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [http://de.gov.yanao.ru/doc/o\\_effect/oms/purovskiy\\_2011.pdf/](http://de.gov.yanao.ru/doc/o_effect/oms/purovskiy_2011.pdf/) (дата обращения 12.12.2012).
3. Маергойз И.М. Методика мелкомасштабных экономико-географических исследований. М.: Изд-во МГУ, 1981.
4. Мосунов В.П., Никульников Ю.С., Сысоев А.А. Территориальные структуры районов нового освоения. Новосибирск: Наука, 1990. —153 с.
5. Основные показатели социально-экономического развития Сургутского района за 2011 год. [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.admsr.ru/upload/iblock/e0a/e0a0f3beb78b848aabb9350fb2c9237.doc> (дата обращения 12.12.2012).
6. Пояснительная записка к мониторингу и прогнозу социально-экономического развития муниципального образования Туруханский район на период до 2015 года. [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.admtr.ru/oficial/prognoz-ser/> (дата обращения 12.12.2012).
7. Производство важнейших видов промышленной продукции по Ханты-Мансийскому автономному округу — Югре за 2005—2011 гг.: Статистический сборник / ТО ФСГС. Ханты-Мансийск, 2012. — 38 с.
8. Яськова Т.И. Пристоличное положение как отражение взаимовлияния регионов: теоретический аспект. [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.shu.ru/old/pages/magazin/n16/yas'kova.pdf/> (дата обращения 12.12.2012).

## 6.2. КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

### ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ СВЯЗЕЙ

*Ляшенко Дмитрий Алексеевич*

*канд. геогр. наук,  
доцент Национального транспортного университета,  
г. Киев  
E-mail: [uageo@ua.fm](mailto:uageo@ua.fm)*

### INTERNATIONAL RELATIONS GEOINFORMATION MAPPING

*Dmytro Liashenko*

*candidate of geographical science, associate professor  
of the National Transport University,  
Kiev*

#### АННОТАЦИЯ

В статье представлены теоретические основы и опыт практической реализации геоинформационного картографирования международных связей. Определены методы проектирования картографических баз данных. Представлены направления геоинформационного анализа данных и создания производных карт.

#### ABSTRACT

The paper presents the theoretical background and practical experience of implementing international relations GIS mapping. Cartographic databases design methods are defined. The directions of GIS data analysis and derivative maps creation are presented.

**Ключевые слова:** международные связи; ГИС-картографирование картографический анализ данных.

**Keywords:** international relations; GIS mapping; cartographic data analysis.

Картографические исследования международных связей (МС) в СССР не получили достаточного распространения. Это связано с секретностью внешнеторговой и миграционной статистики, невозможностью международных сравнений из-за различных подходов к расчету показателей в социалистических и капиталистических странах. Впервые в СССР карты МС были помещены в Большой советский атлас мира (БСАМ) в 1937. Наряду с этим фактом, следует отметить практически полное отсутствие в СССР экономико-географических работ по внешнеторговым и внешнеэкономическим связям, о чем писал И.М. Маергойз. Вопросы картографирования МС стали освещаться в последней четверти XX ст. в отдельных работах И.М. Маергойза (1974), В.В. Покшишевского (1978). В украинской картографии внимание к этой теме впервые было привлечено в концепции второго тома Национального атласа Украины Л.М. Корецким, М.М. Паламарчуком, И.П. Старовойтенко, А.С. Харченко в 1967 г. Реализация отдельных карт МС была осуществлена рядом авторов: Б.П. Яценко, А.У. Хомра, И.Г. Савчуком, Т.И. Козаченко в Национальном атласе Украины (2007), Атласе учителя (2010), отдельных авторских разработках.

Среди зарубежных картографических произведений, посвященных МС, особо следует отметить карты Ф. Рекацевича (Rekacewicz), сотрудника французского журнала *Le Monde diplomatique*, регулярно публикующего атласы и карты, посвященные этой тематике.

В нынешних условиях экономической глобализации возрастает внимание исследователей к МС как потокам людей, финансов, вещества, энергии и информации, которые осуществляется на международном уровне национальными государствами, субъектами хозяйственной деятельности, социумами, гражданами.

Одно из главных мест в исследованиях МС принадлежит изучению геопроцессов как процессов самоорганизации пространства. Геопроцессы оставляют на поверхности планеты «следы» в виде поселений, путей сообщения, карьеров, терриконов, каналов, водохранилищ, промышленных ареалов. Как справедливо отмечает А.П. Ковалев, в современных условиях регионы, как самоорганизующиеся (а не административно управляемые) образования, становятся составляющими единой системы мирового хозяйства. Такие регионы не имеет постоянных границ: они меняются в зависимости от текущей конъюнктуры [2]. Каждый региональный центр на глобальном уровне становится мощным центром международных связей: потоков сырья, товаров, услуг, финансов, миграционной подвижности населения.

Важнейшей научной задачей является изучение закономерностей процессов самоорганизации, выявление условий возникновения качественных изменений системы МС и прогноз ее развития на перспективу. Инструментом решения такой задачи является геоинформационное картографирование (ГК).

В основу исследования МС положен геоинформационный анализ территории как совокупности пространственных объектов и связей между ними. Такой подход приводит к появлению особой технологии ГК, главной задачей которой является автоматизированное информационно-картографическое моделирование природных и социально-экономических геосистем на основе баз географических данных и знаний.

ГК предполагает повышенное внимание к формированию баз картографических данных на основе структурно-графических моделей, которые строятся в виде организационных диаграмм, логически упорядочивающих объекты, связи, показатели картографирования. Объектом моделирования могут быть разные классы систем: исходные системы, системы данных, порождающие системы, системы нижележащих уровней, метасистемы [3]. Такие модели является первым шагом к построению онтологий. Онтология — попытка всеобъемлющей и детальной формализации некоторой области знаний с помощью концептуальной схемы. Этот термин определяется как база знаний специального типа.

Общепотребительным средством моделирования онтологий является UML — унифицированный язык моделирования, использующийся в парадигме объектно-ориентированного программирования и являющийся неотъемлемой частью процесса создания баз картографических данных.

Сущность геоинформационного моделирования (ГМ) как основного атрибута ГК, заключается в конструировании геоинформационных моделей и их анализе для задач изучения объектов реального мира. Его можно рассматривать как современную ГИС-технологию, которая, в отличие от теоретических методов моделирования, является технологическим процессом, поскольку предполагает работу пользователя с базами данных ГИС [1].

Система методов ГМ представляет собой применение: а) географического; б) картографического; в) математико-картографического; г) компьютерного электронно-графического моделирования.

*Географическое моделирование* состоит в классификации, моделировании геосистем, их структурно-типологическом анализе.

Потенциал *картографического моделирования* хорошо сочетается с аналитическим инструментарием геоинформатики и карта

становится интерфейсом между пользователем и базой данных, что обуславливает возможность быстро анализировать данные за различные периоды, конструировать геоизображения с заданными новыми свойствами, содержащие результаты анализа данных, производную информацию.

*Математико-картографическое моделирование* геосистем предусматривает привлечение математических методов для выявления закономерностей их организации, развития и изменений в пространстве и времени.

Цель *имитационного моделирования* состоит в воспроизведении поведения исследуемой системы на основе анализа наиболее существенных взаимосвязей между ее элементами средствами математического моделирования.

В ходе исследований МС автором с помощью метода математико-картографического моделирования было осуществлено кластерный анализ стран мира, в результате которого осуществлена типизация торговых партнеров Украины по структуре и динамике экспорта и импорта товаров отдельных товарных групп, стран Европы по типам динамики международных миграций. Результаты типизации представлены в виде карт.

Говоря об использовании карт МС, как аналоговых так и электронных, важно верно осуществить выбор картографической проекции. Это делают экспериментально, путем нахождения вариантов проекций с наименьшими искажениями длин линий, площадей и углов для территории картографирования. Конфигурация маршрутов МС может по форме быть линейной или звездообразной с симметричными или несимметричными лучами. В общем случае наименьшие искажения на картах должны совпадать с главными линиями потоков или содержать в себе основные маршруты МС. Основными для карт регионов мира и маршрутов МС являются косые азимутальные, псевдоцилиндрические и косые цилиндрические проекции.

Таким образом, геоинформационное моделирование является мощным инструментом структурирования пространственной информации о потоках вещества, энергии и информации, которые пересекают государственные границы. В современном глобализованном мире знание этих закономерностей является крайне необходимым. Получение сведений о системе МС неотделимо от упорядоченной картографической информации о состоянии международных связей.

### **Список литературы:**

1. Геоінформаційне картографування в Україні. Концептуальні основи і напрями розвитку: монографія / Руденко Л.Г., Козаченко Т.І., Ляшенко Д. О. та ін. - К.: Наукова думка, 2011 — 104 с.
2. Ковалёв А.П. Природная среда и человек: современные проблемы и пути их решения // Изменение природной среды на рубеже тысячелетий: Материалы междунар. интернет-конф. Тбилиси-Москва: «Полиграф», 2006. — С. 121—127.
3. Кирюшин А.В., Федотов Ю.Д., Кирюшин В.А. Системный анализ природно-социально-производственных систем // Сборник научных трудов SWorld по материалам междунар. научно-практической конф. [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.sworld.com.ua/konfer32/215.pdf> (дата обращения 12.10.2013).

**Научное издание**

**«ЕСТЕСТВЕННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ  
НАУКИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ»**

Сборник статей по материалам  
IX-X международной научно-практической конференции

№ 9-10 (10)  
Октябрь 2013 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 20.10.13. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 14. Тираж 550 экз.

Издательство «СибАК»  
630075, г. Новосибирск, Залесского 5/1, оф. 605  
E-mail: mail@sibac.info

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного  
оригинал-макета в типографии «Allprint»  
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3