

# Международный независимый институт Математики и Систем "МиС"

Ежемесячный научный журнал

№ 9 / 2014

Редакционная коллегия:

Ответственный секретарь — д.ф.-м.н.Осмагулов Д.Р. (РФ, Новосибирск)

Главный редактор — д. т.н., Клехов А.Н. (РФ, Рязань)

Члены редакционной коллегии:

Редакционный совет:

Альметьев Кондрат Викторович

Казанский государственный технологический университет

Бабушкин Сергей Дмитриевич

Казанский государственный технологический университет

Геверов Филипп Александрович

Новосибирский государственный университет

Веренов Артем Денисович

Институт прикладной математики и автоматизации Кабардино-Балкарского научного центра

Дзеркальский Руслан Рамзанович

Алтайский государственный университет

Квит Владимир Арсеньевич

Рязанский государственный радиотехнический университет

Крамской Николай Алексеевич

Белгородский государственный университет

Лутковский Геннадий Владимирович

Ивановский государственный университет

Морин Дмитрий Александрович

Югорский государственный университет

Мезельская Арина Александровна

Рязанский государственный радиотехнический университет

Охрименко Вадим Леонидович

Новосибирский государственный университет

Семченко Игорь Олегович

Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова

Татарских Денис Анатолиевич

Новосибирский государственный университет

Федорин Иван Николаевич

Южный федеральный университет

Ярмоленко Аркадий Леонидович

Санкт-Петербургский госуниверситет

Ответственный редактор

д.ф.-м.н.Осмагулов Д.Р. (РФ, Новосибирск)

## Международные индексы:



Ответственный редактор:  
Главный редактор: д. т.н., Клехов А.Н. (РФ, Рязань)

Международный редакционный совет:

Альметьев Кондрат Викторович  
Казанский государственный технологический университет  
Бабушкин Сергей Дмитриевич  
Казанский государственный технологический университет  
Геверов Филипп Александрович  
Новосибирский государственный университет  
Веренов Артем Денисович  
Институт прикладной математики и автоматизации Кабардино-Балкарского научного центра  
Дзеркальский Руслан Рамзанович  
Алтайский государственный университет  
Квит Владимир Арсеньевич  
Рязанский государственный радиотехнический университет  
Крамской Николай Алексеевич  
Белгородский государственный университет  
Лутковский Геннадий Владимирович  
Ивановский государственный университет  
Морин Дмитрий Александрович  
Югорский государственный университет  
Мезельская Арина Александровна  
Рязанский государственный радиотехнический университет  
Охрименко Вадим Леонидович  
Новосибирский государственный университет  
Семченко Игорь Олегович  
Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова  
Татарских Денис Анатолиевич  
Новосибирский государственный университет  
Федорин Иван Николаевич  
Южный федеральный университет  
Ярмоленко Аркадий Леонидович  
Санкт-Петербургский госуниверситет

Художник: Курагин Денис Андреевич  
Верстка: Еремин Александр Дмитриевич

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Адрес редакции:  
630005, г. Новосибирск, ул. Ермака, 39, оф. 23  
E-mail: [info@math-systems.ru](mailto:info@math-systems.ru) ; <http://math-systems.ru/>

Международный независимый институт математики и систем "МИС"

Тираж 1000 экз.  
Отпечатано в типографии 630005, г. Новосибирск, ул. Ермака, 39, оф. 23

# СОДЕРЖАНИЕ

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Аль Имам Адель А. Абед Аль Вахаб, Ноаман С.А.</i> ТЕЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРНОГО ВЯЗКОПЛАСТИЧНОГО МАТЕРИАЛА В ПЛОСКОЙ ТРУБЕ В УСЛОВИЯХ ПРИЛИПАНИЯ И ОТСУТСТВИЯ МИКРОВОРАЩЕНИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ..... 5	<i>Ефименко Л. А., Меркулова А.О., Рамусь Р.О., Вышемирский Д. Е.</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛА СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ СТАЛИ КАТЕГОРИИ ПРОЧНОСТИ К60..... 19
<i>Авраменко Д.В.</i> РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ И РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ..... 8	<i>Осина Т.М., Михайлов А.Б., Прохоров В.Т., Афанасьева Р.Ф.</i> О НОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПО СОЗДАНИЮ КОМФОРТНЫХ УСЛОВИЙ ЧЕЛОВЕКУ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ..... 22
<i>Буданова Г.Н., Ролдугина А.Е.</i> ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ НОВЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ..... 10	<i>Решетняк С.П., Мелихов М. В.</i> ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОЧИСТКЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ БЕРМ УСТУПОВ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ОТКОСАМИ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БОРТОВ КАРЬЕРА ..... 30
<i>Кондратенко А.А., Маторин С.И.</i> О ВЫБОРЕ МОДЕЛИ И ФОРМАТА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ФАКТОВ, ИЗВЛЕКАЕМЫХ ИЗ УФО-МОДЕЛЕЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ..... 12	<i>Шакурский М.В., Шакурский В.К.</i> КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, ОСНОВАННОЙ НА СЖИМАЮЩИХ ОТОБРАЖЕНИЯХ ..... 34
<i>Кожанов Д.А.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ОБРАЗЦА ГИБКОГО ТКАННОГО КОМПОЗИТА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ..... 14	<i>Сидоров А.А.</i> МОДУЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБУЧЕНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ..... 37
<i>Леушева Е.А., Нуцкова М.В.</i> ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТОВ БУРОВОГО РАСТВОРА НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИ БУРЕНИИ НА ШЕЛЬФЕ ..... 17	

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Бахарев Б.В.</i> ИЗМЕРЕНИЕ ДЕКРЕМЕНТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭНЦЕФА- ЛОГРАММЫ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ РИТМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА..... 40	<i>Испулов Н.А., Сейтханова А. К., Жуспекова Н.Ж., Оспанова Ж.Д.</i> О МАТРИЧНОМ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕРМОУПРУГИХ ВОЛН В АНИЗОТРОПНЫХ СРЕДАХ..... 60
<i>Будылкин А.А.</i> Н-РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЕКТИВНОГО ПРОСТРАНСТВА..... 43	<i>Петров Т.Г.</i> «МЯГКАЯ» СИСТЕМА КООРДИНАТ В ПРАВИЛЬНЫХ СИМПЛЕКСАХ ..... 65
<i>Суворов Д.В., Буваков С.Ю., Гололобов Г.П., Тарабрин Д.Ю.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НАНЕСЕНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЁНОК СЕРЕБРА НА СТЕКЛЯННУЮ ПОДЛОЖКУ..... 49	<i>Попов Ю. И.</i> НОРМАЛИЗАЦИИ ОСНОВНЫХ СТРУКТУРНЫХ ПОДРАССЛОЕНИЙ Н –РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АФИННОГО ПРОСТРАНСТВА ..... 73
<i>Сафаров И.И., Болтаев З.И., Ахмедов М.Ш.</i> СВОБОДНЫЕ ВОЛН В КЛИНЕ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ УГЛОМ ВЕРШИНЫ ..... 56	

## СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

*Хлюстов В.К., Гаврилова О. И.*

ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА СРЕДНЕЙ ВЫСОТЫ ЕЛОВЫХ  
МОЛОДНЯКОВ .....78

*Кадырбекова Л.К., Иминова Д.Е.*

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ГИБРИДОВ ПОДСОЛНЕЧНИКА  
СЕМЕЙСКОГО РЕГИОНА .....81

## ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Топчиев А. Г.*

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ НА  
ТРУБОПРОВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ .....86

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 532.52, 05.13.18

Аль Имам Адель А. Абед Аль Вахаб<sup>1</sup>, Ноаман С.А.<sup>2</sup>

### ТЕЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРНОГО ВЯЗКОПЛАСТИЧНОГО МАТЕРИАЛА В ПЛОСКОЙ ТРУБЕ В УСЛОВИЯХ ПРИЛИПАНИЯ И ОТСУТСТВИЯ МИКРОВАРАЩЕНИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА

<sup>1</sup>Аспирант факультета Прикладной Математики информатики и Механики Воронежский государственный университет (преподаватель университета г. Дияла/Ирак);

<sup>2</sup>Аспирант факультета Прикладной Математики информатики и Механики Воронежский государственный университет (преподаватель университета г. Дияла/Ирак)

FLOW MICROSTRUCTURAL VISCOPLASTIC MATERIAL IN A PLANE TUBE WITH CONDITIONS OF STICKING AND LACK OF MICROROTATION REPRESENTATIVE ELEMENT

Al Imam Adel A. Abed Al Wahab, Graduate student of Applied Mathematics Informatics and Mechanics, Voronezh State University (teacher University of Diale / Iraq)

Noaman Salam Abdulkhaleq, Graduate student of Applied Mathematics Informatics and Mechanics, Voronezh State University (teacher University of Diale / Iraq)

#### АННОТАЦИЯ

Приведено точное решение для скорости и напорного течения микроструктурного вязкопластичного материала в плоской трубе в условиях жестких граничных условия – прилипания и отсутствия микроращения представительного элемента. Выделено ядро течения и показана послойность течения.

#### ABSTRACT

Here an exact solution for velocity and pressured flow of microstructural viscoplastic material in a plane tube under rigid boundary conditions - sticking and lack of microrotation representative element. Allocated a flow core and layerwise flow.

Ключевые слова: Вязкопластичность, микроструктура, послойность течения, ядро течения.

Keywords: Viscoplasticity, microstructure, layerwise flow, flow core.

В различных технологических задачах переработки угля или руды приходится транспортировать раздроблённую горную породу в виде пульпы. Свойство пульпы существенно отличаются от свойств вязкой жидкости, рассматриваемый материал обладает прочностью - пределом пластичности на сдвиг и свойством дальнего действия когда нужно рассматривать движение представительных объёмов  $\Delta V = h^3$  содержащих твёрдые частицы в жидкости [2]. Под микроструктурным материалом будем понимать материальную среду, представительный элемент которой по своим свойствам совпадает со свойствами материала в целом, и размеры которого  $\Delta V = h^3$  будут учтены в выражениях для тензора скоростей деформаций [2,3]

$$E_{ij} = E_{ij}^c + \left(\frac{h^2}{6}\right) \Delta E_{ij}^c \quad (1)$$

здесь:  $E_{ij}^c = \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i}\right)$  - (i, j = 1, 2, 3) тензор

скоростей деформаций Коши,  $V_i$  - скорость.

Величину  $\frac{1}{6} \cdot \frac{h^2}{L^2} = \delta^2$  - будем считать малой,

где L - характерный размер области течения.

Рассматривая далее стационарные течения будем требовать выполнения уравнения движения в напряжениях

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} = g_i \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (2)$$

Для случая несжимаемого материала  $E_{kk} = 0$  (3)

Связь между напряжениями и скоростями деформаций для вязкопластического материала примем в виде

$$\sigma_{ij} - p \cdot \delta_{ij} = 2\mu E_{ij} \quad (4)$$

при условии достижения пластического напряженного состояния по критерию Мизеса

$$J_g^2 = \sigma'_{ij} \sigma'_{ij} = \sigma_{ij} \sigma_{ij} - \frac{1}{3} \sigma_{kk} \sigma_{kk} = 2k^2 \quad (5)$$

здесь k - предел пластичности.

Представленная математическая модель течения в терминах скоростей  $V_i$  и напряжений  $\sigma_{ij}$

являет собой замкнутую систему нелинейных уравнений в частных производных допускающую наличие области течения и жестких несжимаемых областей материала с неизвестной границей раздела.

**Напорное течение в плоской трубе**

Напорное течение микроструктурного вязкопластичного материала (Рис. 1) определяется дифференциальным уравнением (6) 4-го порядка [2-1], условием пластичности (9) на границе твердой зоны материала и граничными условиями (7-8) на стенке трубы  $y=H$  и на границе твердого ядра течения  $y=\check{H}$ .

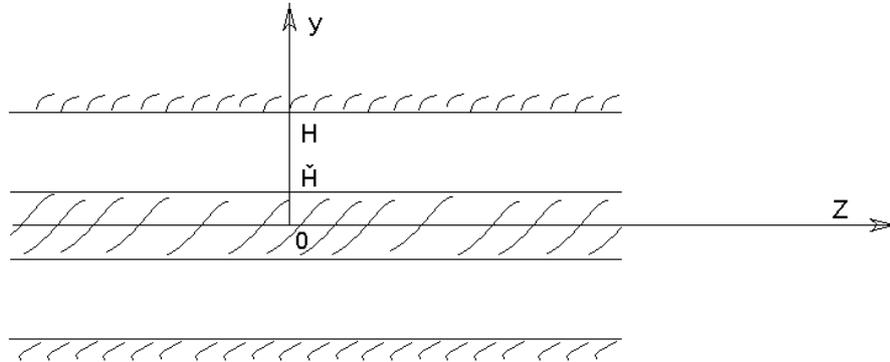


Рис. 1. Схематическое изображение течения вязкопластичного материала в трубе шириной  $2H$  и жестким ядром течения шириной  $2\check{H}$

$$\delta^2 w^{IV} + w'' = -q^2 \tag{6}$$

$$w(H) = 0; w'(H) - \partial w'(H) = 0 \tag{7}$$

$$w(\check{H}) = W_0; W(\check{H}) + \partial W'(\check{H}) - W_0 = 0 \tag{8}$$

$$\sigma_{yz}(\check{H}) = 2k_0; \tau_0 = \check{H} \cdot q^2. \tag{9}$$

здесь  $q^2$  - перепад давления вдоль трубы

$$q^2 = -\frac{\partial \rho}{\partial z}$$

Дифференциальное уравнение (6) может быть проинтегрировано два раза

$$\delta^2 w'' + w = -\left(\frac{q^2}{2}\right)y^2 + C_1 y + C_2 \tag{10}$$

Общее решение уравнения (10) имеет вид

$$w(y) = C_3 \sin \frac{y}{\delta} + C_4 \cos \frac{y}{\delta} - \left(\frac{q^2}{2}\right) \cdot y^2 + C_1 y + C_2 - \delta^2 q^2 \tag{11}$$

Граничные условия (7-8) вместе с условиями баланса сил на ядре течения и условием пластично-

сти (9) позволяют определить постоянные интегрирования  $C_1, C_2, C_3, C_4$ , размер ядра  $H^1$  и скорость ядра  $w_0$

$$H^1 = \frac{\tau_0}{q^2}; C_1 = q^2 H^1;$$

$$C_3 = \left[ \frac{\delta q^2}{\sin\left(\frac{H-H^1}{\delta}\right)} \right] \cdot \left( H^1 \sin \frac{H}{\delta} - H \sin \frac{H^1}{\delta} \right);$$

$$C_4 = - \left[ \frac{\delta q^2}{\sin\left(\frac{H-H^1}{\delta}\right)} \right] \cdot \left( H^1 \cos \frac{H}{\delta} - H \cos \frac{H^1}{\delta} \right);$$

(12)

$$C_2 = \delta^2 q^2 + \left(\frac{q^2}{2}\right)H - \frac{\delta q^2}{\sin \frac{H-H^1}{\delta}} \left( H^1 - H \cos \frac{H-H^1}{\delta} \right)$$

С учетом (12) выражение для скорости  $w(y)$  конкретизируется

$$w(y) = \frac{q^2}{2} (H^2 - y^2) + \frac{\delta q^2}{\sin \frac{H-H^1}{\delta}} \left[ H^1 \left( \cos \frac{H-y}{\delta} - 1 \right) + H \left( \cos \frac{H-H^1}{\delta} - \cos \frac{H^1-y}{\delta} \right) \right] \tag{13}$$

Скорость  $w_0$  движения ядра течения в условиях жестких граничных условий определяется из (13) при  $y=H^1$

где  $H^1 = \frac{\tau_0}{q^2}$

$$w_0 = \frac{q^2}{2} \left[ \left( H^2 - H^{1,2} \right) + \frac{2\delta}{\sin \frac{H-H^1}{\delta}} \cdot H^1 \left( \cos \frac{H-H^1}{\delta} - 1 \right) + H \cos \frac{H-H^1}{\delta} - H \right]. \tag{14}$$

На рис. 2-3 представлен график скорости  $w(y)$  течения для различных значений входящих постильных:

$$-\frac{h}{H}, \frac{H^1}{h} \text{ в области } x = \frac{y}{h} \in \left[ \frac{H^1}{H}; 1 \right]$$

$$V(x) = \frac{w(x)}{\left(\frac{q^2}{2}\right)H^2} = (1-x^2) + \frac{\left(\frac{h}{H}\right)}{\sin\left(\frac{1-\frac{H^1}{H}}{\frac{h}{N}}\right)} \left[ \frac{H^1}{H} \left( \cos\frac{1-x}{\frac{h}{H}} - 1 \right) + \cos\left(\frac{1-\frac{H^1}{H}}{\frac{h}{H}}\right) - \cos\left(\frac{\frac{H^1}{H}-x}{\frac{h}{H}}\right) \right] \quad (15)$$

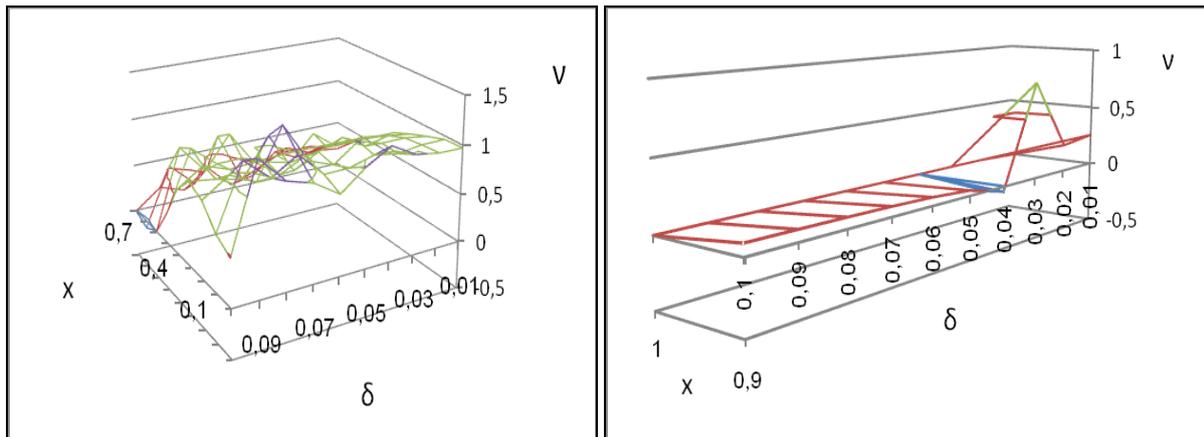


Рис 2. Графики зависимости скорости течения  $V$  от ширина канала для различных значений ширины  $H^1$  ядра течения при фиксированных значениях параметра  $\delta$

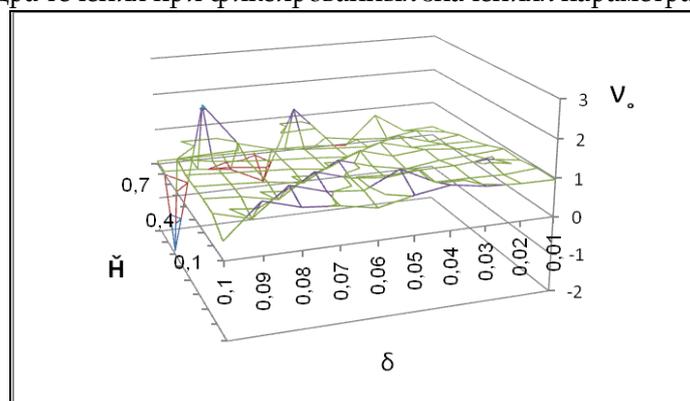


Рис 3. График зависимости скорости ядра течения  $V_0$  от параметров материала  $H^1$  и  $\delta$

**Заключение**

Приведенные графики расчётов  $V(x)$  [Рис.2] скорости течения материала для различных значений параметра  $\delta$  показывают влияние микроструктуры на послойность течение с увеличением  $\delta \in [0; 0,1]$  число слоёв увеличивается. Отмечено резкое увеличение скорости  $V_0$  течения ядра при некоторых значениях  $\delta$ .

**Список литературы:**

1. Аль Имам А. А. Влияние микроструктуры вязкопластичного материала на форму течения в круглой трубе / А. А. Аль Имам – Воронеж: Материалы международной конференции ((Воронежская зимняя математическая школа С. Г. Крейна – 2014, с. 21 –24.

2. Быкова М. И. Течение и деформирование материалов однородной микроструктуры : монография / М. И. Быкова, Н. Д. Вервейко, П. П. Сумец, С. А. Шашкина ; Воронежский государственный университет. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2010. – 192 с.
3. Вервейко,Н.Д.Влияние характерного линейного размера микроструктуры и времени релаксации на переходные процессы в тонких слоях/ Н.Д. Вервейко, В.И. Просветов.–Воронеж: Вестник ВГУ, 2013. –298 с.

Авраменко Д.В.

## РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ И РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

аспирант Рязанского государственного радиотехнического университета, г. Рязань

DEVELOPMENT OF METHODS FOR IMAGE PROCESSING AND RECOGNITION SPACE ARTIFICIAL

Avramenko Denis, Ryazan State graduate student Radio Engineering University, Ryazan

### АННОТАЦИЯ

В связи с развитием космических технологий в области навигации, мониторинга земной поверхности особую актуальность приобретают исследования в области распознавания и оценки характеристик космических объектов. Традиционный способ распознавания космических объектов основан на использовании координатных признаков. При этом космический объект рассматривается как точечный, а в качестве признаков распознавания используются параметры его орбиты. Однако в современных условиях уже недостаточно определения только орбиты космического объекта, ставится задача оперативного определения функционального назначения и технического состояния космических аппаратов. Для решения этой задачи необходимо использовать как имеющиеся средства наблюдения, так и перспективные, находящиеся в стадии разработки.

### ABSTRACT

In connection with the development of space technologies in the field of navigation, monitoring framework of the earth surface is of great importance for research in divergent recognition and evaluation of characteristics of space objects. The traditional method of detection of space objects based on the use of coordinates and local features. When this space object considered as a point, and as signs of recognition are the parameters of its orbit. However, in modern conditions is not enough to determine only the orbit space of the-th object, the objective operational definition of functional specifications, deposits and technical condition of the comic devices. To solve this problem it is necessary to use the existing monitoring tools and perspectives to the ones that are in the development stage.

**Ключевые слова:** апертурный синтез, метод Нокса-Томпсона, спекл-интерферометрия, голографическая интерферометрия, счет фотонов в изображении, метод тройной корреляции.

**Keywords:** aperture synthesis method Knox-Thompson speckle interferometry, holographic interferometry, photon counting in the image, the method of triple correlation.

**Введение.** В последние годы в связи с широким использованием космического пространства для решения военно-прикладных задач, появлением искусственных спутников Земли (ИСЗ) стратегического назначения, а также ввиду засорения околоземного пространства нефункционирующими ИСЗ и их обломками (космическим мусором) проблема контроля космических объектов искусственного происхождения приобрела особую актуальность как с позиции обороны, так и с позиции безопасности космонавтики и экологии Земли[1].

Среди комплекса задач, решаемых системами контроля космического пространства, одной из главных является задача распознавания космических объектов по их изображениям высокого углового разрешения.

Пути увеличения разрешающей и проникающей способности одноапертурных систем контроля ближнего космоса (удалением  $R \leq 1000$  км) в интересах контроля малоразмерных ( $\Theta = 10^{-8}$  рад.) и слабосветящихся ( $+18^m$  зв. вел.) объектов, например фрагментов космического мусора, возможны в нескольких направлениях[2]:

- за счет компенсации атмосферных искажений методом тройных корреляций и цифровой

адаптации;

- за счет увеличения приемной апертуры телескопа на базе апертурного синтеза;
- благодаря повышению чувствительности и уменьшению элемента разрешения детектора на базе режима счета фотонов в изображении.

Рассмотрим данные направления, составим концепцию построения наземной оптической системы контроля космоса, состоящую из 3-х последовательных и взаимосвязанных каналов:

- формирования изображений на базе технологий апертурного синтеза;
- детектирования изображения на базе технологий счета фотонов в изображении;
- обработки изображения на базе параллельной архитектуры организаций вычислительных средств и цифровых технологий корреляционно-адаптивной обработки изображений.

**Цель работы** — сравнительный анализ методов построения информационных каналов систем контроля космического пространства.

### Постановка задачи

Канал формирования. Существующие концепции построения оптических систем апертурного

синтеза, а именно, сегментного телескопа, многозеркального телескопа, радиотелескопа и матрицы отдельных телескопов, позволяют произвести сравнительный анализ. В настоящее время только матрицы отдельных телескопов с базами до 100 м и более пригодны и эффективны для контроля дальнего космоса (удалением  $R \geq 36000$  км) [1,3].

Использование матрицы апертурного синтеза позволяет осуществлять одновременное независимое сопровождение многих объектов в широком поле зрения её отдельных телескопов и их групп. Отметим, что матрица отдельных телескопов обеспечивает возможность наведения лазерного излучения подсвета одновременного в разных направлениях и наблюдение подсвеченных объектов контроля одновременно с разных направлений.

Канал детектирования. К детектору изображения в матрице предъявляются требования по величине минимального элемента разрешения детектора и обеспечению детектирования интерференционных полос в формируемом изображении и в каждом дифракционном пятне [2]. В качестве возможных путей удовлетворяющих эти требования предлагается использовать режим счета фотонов в изображении, реализованных с помощью фотоэлектрического фотометра.

Высокая точность и чувствительность позволяет этому методу решать многие астрофизические задачи. В основе метода фотоэлектрического измерения света лежит преобразование светового потока в электрический сигнал с одновременным усилением сигнала в сотни тысяч и миллионы раз. Это преобразование осуществляется с помощью фотоэлектрических умножителей [4].

Технология детектирования слабых световых локационных сигналов за счет режима счета фотонов в изображении:

- повышает проникающую и разрешающую способность наземных систем контроля космоса;
- увеличивает динамический диапазон и производительность процесса детектирования;
- позволяет унифицировать алгоритмы обработки изображений для пассивного и активного режимов лазерной локации;
- обеспечивает возможность обработки изображений и распознаваний объектов контроля в реальном масштабе времени;
- защищает детектор от возможного воздействия лазерного излучения.

Канал обработки. Для режима счетов фотонов в изображении и для малоразмерных, занимающих один элемент разрешения объектов, подходит ме-

тод тройных корреляций и его модификации в алгоритмах обработки изображений наземной матрицы апертурного синтеза.

В восстановлении модуля пространственного спектра от объекта в матрице апертурного синтеза эффективно использовать метод спекл-интерферометра, а для восстановления фазы пространственного спектра от объекта вдоль радиальных полуостровов, использовать корреляционный метод Нокса-Томпсона [2]. Так же не исключено использование радиоинтерферометра, предназначенного для радиоастрономических наблюдений с высоким угловым разрешением. С помощью радиоинтерферометрии достигаются угловые разрешения с точностью до  $0,001''$  [5].

#### Анализ эффективности

Проведем сравнение методов спекл-интерферометрии и голографической интерферометрии.

Метод спекл-интерферометрии включает в себя регистрацию коротких экспозиций серийей мгновенных спекл-изображений  $I_k(r)$   $k=1, 2, \dots, N$ ,  $N \gg 1$ . Для каждого изображения оптическим способом или с помощью цифровой обработки определяется пространственный спектр мощности  $|F\{I_k(r)\}|^2$ , где  $F\{\dots\}$  – символ фурье-преобразования, и производится его усреднение по ансамблю зарегистрированных изображений. Этот средний пространственный спектр спекл-изображений содержит информацию о пространственном спектре наблюдаемого объекта  $|F\{B\}|^2$ , а так же информацию о среднем пространственном спектре спекл-структур от точечного изображения  $\langle |F\{P\}|^2 \rangle$ . Таким образом, данный метод позволяет производить наблюдения астрономических объектов через турбулентную атмосферу с дифракционным пределом разрешения, при котором получают не само изображение объекта, а информацию о его пространственной структуре [6].

В голографической интерферометрии интерферируют волны, проходящие по одному и тому же пути, но в разные моменты времени. Вид интерференционной картины обусловлен лишь изменениями, произошедшими с объектом за время между записью голограммы и моментом наблюдения (либо за время между экспозициями), и однозначно связан с этими изменениями [7]. Данный метод является дифференциальным, поэтому в нем могут сравниваться последовательные состояния одного и того же объекта [8].

**Выводы.** Таким образом, в спекл-интерферометрии основным недостатком является то, что при использовании длительной экспозиции возможность определения пространственной структуры космического объекта по усредненному спектру

мощностей ансамбля мгновенных спекл-изображений объекта, приводящей к усреднению самой спекл-структуры в изображении, исчезает. В голографическом интерферометре к качеству оптических деталей предъявляют меньше требований, так как сравниваются волны, прошедшие по одному и тому же каналу и одинаково искаженные дефектами. Влияние aberrаций в данном случае на изображение минимальны, суждения о перемещении объекта и об изменениях микроструктуры голографируемой поверхности происходит по контрасту, характеру и локализации полос.

Использование спекл-интерферометра наиболее эффективно при работе в условиях турбулентной атмосферы. Соответственно спекл-структура несет информацию о поверхности и цветовом спектре объекта.

Голографический интерферометр позволяет исследовать объекты неправильной формы и шероховатые, диффузно отражающие свет. Он нечувствителен к дефектам оптических деталей установки, что позволяет исследовать объекты достаточно больших размеров.

#### Список литературы:

1. Свиридов К.Н. Технологии достижения высокого углового разрешения оптических систем атмосферного видения. — М.: Знание, 2005. — С. 119-121. — 452с.
2. Свиридов К.Н. Оптическая локация космического мусора. — М.: Знание, 2006. — С. 79-93. — 488с.
3. Свиридов К.Н. Атмосферная оптика высокого углового разрешения. — Т. 3. — М.: Знание, 2007. — С. 41-54. — 256с.
4. Straubmeier C.M. Entwicklung und erste astronomische Messungen eines optischen Hochgeschwindigkeitspotometers. — Munchen: Max-Planck-Institut fur extraterrestrische Physik. 2001. — P.38-40. — 208p.
5. Прохоров А.М. Физическая энциклопедия. — Т. 5. — М.: Советская энциклопедия, 1988. — 87 с.
6. Рябуков В.П. Спекл-интерферометрия: Сорский образовательный журнал. — Т. 7. — 2001. — 9 с.
7. Островский Ю.И., Бутусов М.М., Островская Г.В. Голографическая интерферометрия. — М., 1977. — С. 61. — 336с.
8. Балтийский С.А., Гуров И.П., Де Никола С., Коппола Д., Ферраро П. Современные методы цифровой голографии. — СПб.: 2004. — С.91-97.

**Буданова Г.Н.<sup>1</sup>, Ролдугина А.Е.<sup>2</sup>**

#### ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ НОВЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

<sup>1</sup>Студент магистрант, Донской государственной технической университет  
г. Шахты Ростовской области ИСО и П (филиал) ДГТУ;

<sup>2</sup>Доцент, каф. МКИД, Донской государственной технической университет  
г. Шахты Ростовской области ИСО и П (филиал) ДГТУ;

#### INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN PRODUCTION OF NEW TEXTILE MATERIALS

*Budanova G. N*

*Student undergraduate, Don state technical university  
Mines of the Rostov region ISO and P (branch) of DGTU;*

*Roldugina A.E.*  
*Associate professor, chairs. MKID, Don state technical university  
Mines of the Rostov region ISO and P (branch) of DGTU;*

#### АННОТАЦИЯ

*В данной работе рассмотрены текстильные материалы легкой промышленности с целью изучения инновационных технологий в производстве новых текстильных материалов, в том числе и в химической промышленности. Анализ изученного материала показал, что в модной индустрии выпускается широкий ассортимент тканей для женской одежды, который соответствует трендам мировой моды. В статье отмечается, что значительное место среди ультрамодных товаров занимают текстильные материалы из льна, обладающие высокими показателями качества. Поэтому одежда на современном этапе развития является промышленным товаром и результатом научно – технического прогресса.*

#### ANNOTTION

*In this work textile materials of light industry for the purpose of studying of innovative technologies in production of new textile materials, including in chemical industry are considered. The analysis of the studied material showed that in the fashionable industry the wide range of fabrics for women's clothing which corresponds to trends of world fashion is issued. In*

article it is noted that the important place among ultrafashionable goods is taken by the textile materials from flax possessing high rates of quality. Therefore the clothes at the present stage of development are industrial goods and result scientifically – technical progress.

*Ключевые слова:* текстильные материалы; одежда; модная индустрия; химические технологии.

*Keywords:* textile materials; clothes; fashionable industry; chemical technologies.

На современном этапе развития рынок инновационных текстильных материалов легкой промышленности претерпевает существенных изменений. На потребительском рынке появляются ткани разнообразных структур с улучшенными и новыми свойствами. Функциональность текстильных материалов стала одним из основных направлений инновационного процесса в текстильной промышленности. Потребители требуют все больше функциональных качеств от выпускаемой одежды. Модные и повседневные ткани наделяются такими свойствами, как несминаемость, пластичность, биостойкость, удобство и комфортность при эксплуатации изделий.

Основной целью в данной статье являлось изучение инновационных технологий в производстве новых текстильных материалов, материалов изо льна, обладающие высокими показателями качества, которые способны совершить революцию в мире моды, в текстильной и легкой промышленности.

В первую очередь следует отметить, что в модной индустрии выпускается широкий ассортимент тканей для женской одежды, который соответствует трендам мировой моды. Поэтому большое внимание уделяется развитию ассортимента, отделки, цвета, а так же конструкции изделий, которые подбираются с учетом модной тенденции и функциональности изделий. Такие текстильные материалы должны соответствовать гигиеническим, эксплуатационным и эстетическим требованиям. Следовательно, одежда созданная с учетом гигиенических требований позволяет защищать человека от неблагоприятных факторов внешней среды, низких и высоких температур, ветра, лишней солнечной радиации, что способствует созданию комфортных условий для жизнедеятельности человека. [1]

Значительное место среди экологически чистых и ультрамодных товаров занимают текстильные материалы изо льна, содержащие природно-окрашенное льняное волокно, обладающие исключительными природными свойствами, высокой прочностью, гигиеничностью, природной бактерицидностью, экологичностью и натуральностью. Обработка льняных материалов ферментами позволяет сохранить в льняном волокне лигнин и природные красители, открывающие широкие возможности для художественно-колористического оформления материалов, способами крашения и печатания охватывающая широкий ассортимент выпускаемой продукции, что позволит наиболее полно использовать

льняное сырье и тем самым повысить конкурентоспособность и производительность льняных изделий на отечественном рынке. [2]

Сегодня одежда является промышленным товаром и результатом научно-технического прогресса. Поэтому, одной из особенностей современного этапа развития производства швейных изделий является значительное ужесточение всего комплекса требований к продукции: потребительских, эстетических, эксплуатационных и промышленных, что обусловлено повышением уровня качества жизни в мире и обострением конкуренции при реализации товаров на рынке. Потребители преимущественно выбирают изделия красивые, модные, добротные, удобные, качественно изготовленные и приемлемые по цене. Повышение конкурентоспособности изделий отечественных предприятий в настоящее время достигается в основном за счет увеличения количества выпускаемой продукции. Сырьевая база швейной промышленности непрерывно претерпевает существенные изменения. Расширяется ассортимент текстильных материалов, улучшаются их потребительские свойства, а швейные предприятия зачастую продолжают работать по традиционным технологиям. Противоречия, возникающие из-за несогласованности технологий в сфере текстильного отделочного производства и в сфере переработки текстильных материалов, снижают возможности коренного улучшения качества швейной продукции.

Большую роль в повышении эффективности производства и качества швейных изделий отводится химическим технологиям, так как они способствуют развитию промышленности в направлении уменьшения количества операций и длительности производственного цикла, повышения наукоемкости, материала, труда и энергосбережения, а также роботизации, автоматизации и механизации технологических процессов. Одежда в настоящее время все больше становится объектом применения научных достижений.

Хорошие результаты показал механико-физико-химический метод обработки нити в процессе формирования ниточной строчки. Улучшение физико-механических свойств швейных ниток достигается уменьшением их ворсистости, снижением трудоемкости и энергоемкости при сокращении цикла обработки, повышение производительности труда и оборудования за счет снижения обрывности ниток. Данное технологическое решение основано на химико-механическом воздействии на поверхность

швейной нити химическими отделочными растворами, осуществляемом посредством конструктивных материалов, обладающих высокими капиллярными свойствами. [3, 4]

Итак, благодаря производству современных материалов с качественно новыми свойствами, повышение технического уровня всех этапов швейного производства, появление перспективных химических технологий и повышение конкурентоспособности продукции, открывает новые возможности в тенденции развития моды в текстильной промышленности. Соответственно на основании этого открываются новые возможности в производстве одежды и адаптация ее свойств к организму человека, регулирование микроклимата пододежного пространства, лечебного воздействия. Только на основе использование научных достижений в области химии может быть создано современное производство качественной одежды удовлетворяющей современные потребности.

#### Список литературы

1. ООО «Брянский комбинат шерстяных тканей» [электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.ruslana.ru/> (Дата обращения: 11.10.2014)
2. Чешкова А.В., Борисова О.А. Инновационные биохимические технологии отделки льняных и льносодержащих тканей. Технология текстильной промышленности. - 2009. № 6. - С. 69-72
3. Веселов В.В., Колотилова Г.В. Химизация технологических процессов швейного производства – М.: Легпромбытиздат, 1985. – С. 128
4. Веселов В.В., Колотилова Г.В. Химизация технологических процессов швейных предприятий. Учебник. Под ред. В.В. Веселова. Иваново: ИГТА, 1999, - С. 424

*Кондратенко А.А.<sup>1</sup>, Маторин С.И.<sup>2</sup>*

#### О ВЫБОРЕ МОДЕЛИ И ФОРМАТА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ФАКТОВ, ИЗВЛЕКАЕМЫХ ИЗ УФО-МОДЕЛЕЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

*<sup>1</sup>аспирантка ФГАОУ ВПО «Белгородский Государственный национальный исследовательский университет» (НИУ БелГУ), г. Белгород;*

*<sup>2</sup>д.т.н., профессор ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ БелГУ), г. Белгород*

ABOUT THE CHOICE OF MODEL AND FORMATS FOR THE REPRESENTATION OF FACTS, WHICH ARE EXTRACTED FROM THE UFO DOMAIN MODELS

*Kondratenko Anna Alekseevna, Postgraduate, Belgorod National Research University, Belgorod, Russian Federation*

*Matorin Sergei Igorevich, Doctor of Engineering, professor, Belgorod National Research University, Belgorod, Russian Federation*

#### АННОТАЦИЯ

*Статья посвящена идее применения модели RDF для представления фактов, извлекаемых из УФО-моделей предметных областей в целях дальнейшего использования для построения онтологий. Рассматриваются основные форматы представления RDF-данных с точки зрения использования в целях построения онтологий на основе результатов УФО-анализа.*

#### ABSTRACT

*This article describes an idea about using RDF model for the representation of facts, which are extracted from UFO domain models. The main formats of RDF data representation in the context of using it in the building ontologies on the base of UFO analysis results process are analyzed.*

*Ключевые слова: Уфо-подход, уфо-модель, онтология, RDF, N-Triples, RDF/XML.*

*Keywords: UFO approach, UFO model, ontology, RDF, N-Triples, RDF/XML.*

Одной из наиболее актуальных проблем современного онтологического инжиниринга является разработка эффективных способов извлечения фактов о предметной области и их удобного представления для использования в целях построения онтологий.

В работах [5, 6] рассматривается идея разработки нового метода построения онтологий, осно-

ванного на использовании результатов УФО-анализа. В частности, предлагается использовать в качестве основы для онтологии факты, извлеченные из УФО-моделей предметной области и представленные с помощью модели RDF.

Отметим, что УФО-подход, лежащий в основе УФО-анализа, представляет практически любую систему в виде конструкции (УФО-элемента), состоя-

щей из трех «компонентов»: Узла, Функции и Объекта. Система как структурный элемент, «перекресток» всех ее связей представляет собой Узел. Функция обозначает систему как функциональный элемент, выполняющий заданную роль для поддержания надсистемы путем балансирования Узла. Под Объектом понимается система как конкретное образование, реализующее функцию. Комбинации из описанных УФО-элементов представляют собой системно-объектные модели (УФО-модели) [4]. УФО-модели позволяют наиболее полно, понятно и удобно представлять данные о предметной области. Преимущества использования УФО-моделей в качестве источников фактов о предметной области для построения онтологий рассмотрены, например, в работе [7].

Для формализации процесса извлечения фактов о предметной области из УФО-моделей авторами разработана классификация извлекаемых фактов, а также предложена и обоснована гипотеза об использовании модели RDF для формальной записи извлекаемых фактов и последующего использования в целях создания онтологий. RDF, или Resource Description Framework – универсальная модель представления данных, разработанная Консорциумом Всемирной Паутины (World Wide Web Consortium, W3C). В основе данной модели лежит представление сведений о ресурсах (предметной области) в виде триплетов «Субъект – Отношение (предикат) – Объект». Особенностью RDF является то, что эта модель позволяет представлять знания в самом общем виде, при этом являясь «универсальным средством для обмена данными между разными программами» [1, 2]. RDF считается основой, исходной базой для некоторых других, более специализированных для онтологий языков типа OWL. Поэтому в рамках разработки метода создания онтологий на основе данных УФО-моделей предметных областей целесообразно первично рассматривать связь УФО-подхода именно с RDF.

Однако RDF считается лишь абстрактной моделью представления утверждений (данных) о предметной области. Для записи утверждений, представленных с помощью модели RDF, используются различные форматы файлов. Основными из них являются:

- RDF/XML;
- RDF/JSON;
- RDFa;
- RDFTriG;
- N3 (Notation 3);
- Turtle;
- N-Quads;
- N-Triples.

Форматы N3 (Notation 3), Turtle, N-Quads, N-Triples входят в группу так называемых компактных форматов [3]. Действительно, указанным форматам присущи менее громоздкие конструкции записи утверждений и, как следствие, удобство восприятия человеком, что, однако, не лишает подобные файлы с данными RDF-модели важнейшего свойства – удобства машинной обработки.

Именно эта особенность обуславливает выбор нотаций данной группы в качестве средства формального представления фактов, извлекаемых из УФО-модели и используемых для последующего построения онтологий. В частности, предлагается использовать формат N-Triples, как один из наиболее распространенных и удобных для восприятия.

Так, все факты (утверждения) о предметной области, тем или иным способом извлеченные из УФО-модели, могут быть представлены как триплеты формата N-Triples вида:

```
<http://www.w3.org/2001/sw/RDFCore/ntriples/>  
<http://purl.org/dc/elements/1.1/publisher>  
<http://www.w3.org/>.
```

Для корректного построения подобных конструкций предполагается использовать существующие коллекции предикатов, а также создавать собственные справочники отношений, которые могут быть использованы в качестве предикатов при записи фактов о конкретной предметной области в формате N-Triples.

В настоящее время ведется работа по созданию алгоритма представления извлекаемых фактов о предметной области в соответствии с классификацией с помощью конструкций нотации N-Triples. В частности, предполагается установить соответствие между каждым фактом из каждой группы в соответствии с разработанной классификацией и шаблонной конструкцией (триплетом), представленной в формате N-Triples. Типовые факты о предметной области, содержащиеся в УФО-модели, предполагается извлекать в соответствии с формальным представлением УФО-элементов и связей между ними на всех уровнях УФО-модели. Для формализации представления УФО-моделей используются элементы теории паттернов Гренандера, исчисления процессов и исчисления объектов.

Также одной из задач в рамках разработки нового метода построения онтологий на основе результатов УФО-анализа является автоматизация процесса извлечения фактов из УФО-моделей и преобразования их в то или иное представление онтологий. Поскольку данные, содержащиеся в УФО-моделях, созданных в специализированном программном средстве UFO-toolkit, могут сохраняться в файлах формата XML, одним из возможных средств реше-

ния указанной задачи может являться их преобразование в файлы формата RDF/XML, содержащие факты о предметной области.

Таким образом, в рамках разработки нового метода построения онтологий на основе УФО-подхода может быть использовано несколько форматов представления RDF-данных, что влечет за собой необходимость решения проблемы конвертации между файлами RDF-данными в различных форматах.

Поскольку для модели RDF не утвержден какой-либо единственно верный формат файлов, на практике широко используются практически все из перечисленных ранее нотаций. Выбор того или иного формата (языка) записи RDF-утверждений обуславливается требованиями конкретной системы и условий использования подобных данных. Разнообразие представлений утверждений о предметной области, объединенных, тем не менее, принципами модели RDF, влечет за собой необходимость разработки специальных инструментов – конвертеров, позволяющих осуществлять переход от одного формата записи к другому.

На сегодняшний день существует ряд решений, предназначенных для осуществления конвертации одних форматов записи RDF-данных в другие. В числе подобных решений – EasyRDF, RDF Translator, RDFConvert, RDF2RDF, Apache Any23. Raptor RDF parser Toolkit.

Указанные инструменты и предлагается использовать в рамках решения задачи об извлечении фактов из УФО-моделей и представлении их с помощью RDF, в частности, для осуществления преобразования записей в формате N-Triples формат RDF/XML, а также получения графического представления полученных данных.

Формальное представление фактов о предметной области, записанное с помощью различных нотаций модели RDF, предполагается использовать в

качестве основы для дальнейшего построения онтологий.

#### Список литературы:

1. John Hebel, Matthew Fisher, Ryan Blace, Andrew Perez-Lopez Semantic Web Programming. – John Wiley & Sons, 2009. – 648 с.
2. Toby Segaran, Colin Evans, Jamie Taylor. Programming the Semantic Web. – O'Reilly Media, 2009. – 302 с.
3. Sean B. Palmer. – Notation3: A Rough Guide to N3, 2002.
4. Маторин С.И., Попов А.С., Маторин В.С. Моделирование организационных систем в свете нового подхода «Узел-Функция-Объект» // ИТИ. Сер.2. – 2005. – N1. – С. 1-8.
5. Слободюк А.А., Маторин С.И. О возможности извлечения фактов из УФО-моделей и представлении их с помощью RDF. // Информатика: проблемы, методология, технологии: материалы XIV международной конференции, Воронеж, 6-8 февраля 2014 г.: в 3 т. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2014. – С. 269-273.
6. Слободюк А.А., Маторин С.И. О применении УФО-подхода для построения онтологий предметных областей // Информатика: проблемы, методология, технологии: материалы XIII международной конференции, Воронеж, 7-8 февраля 2013 г.
7. Слободюк А.А., Маторин С.И., Четвериков С.Н. О подходе к созданию онтологий на основе системно-объектных моделей предметной области. // Научные ведомости БелГУ. Серия История. Политология. Экономика. Информатика. – 2013. – №22 (165) 2013, Выпуск 28/1. – С. 186-195.

*Кожанов Д.А.*

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ОБРАЗЦА ГИБКОГО ТКАННОГО КОМПОЗИТА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ

*аспирант Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород*

MODELING STRESS-STRAIN DIAGRAM SAMPLE COMPOSITE FLEXIBLE CLOTH WITH THE INFLUENCE OF PRE-FAILING

*Kozhanov Dmitry, graduate student of the Nizhny Novgorod state University, Nizhny Novgorod*

**АННОТАЦИЯ**

*В данной статье приведен пример моделирования гибких тканых композитов полотняного плетения с учетом влияния предварительного повреждения. Смоделирована диаграмма деформирования с учетом вязкоупругих деформаций. Проведено сравнение с результатами эксперимента.*

## ABSTRACT

This article is an example of simulation of flexible woven plain weave composites, taking into account the effect of prior damage. Simulated stress-strain diagram with the viscoelastic deformation. A comparison with the experimental results.

Ключевые слова: Гибкий тканый композиционный материал; диаграмма деформирования; предварительное повреждение; вязкоупругое деформирование.

Keywords: Flexible woven composite material; stress-strain diagram; prior damage; viscoelastic deformation.

В данной работе рассматриваются гибкие тканые композиционные материалы. Такие материалы используются при изготовлении, например, скеггов для судов на воздушной подушке. В процессе эксплуатации возможны случаи, когда судно может быть перегружено и напряжение в материале выше допустимого. Тогда необходимо знать, где находится грань, перейдя которую судно больше нельзя эксплуатировать и что произойдет, когда напряжения в скегге превысит норму. Кроме того, материал в процессе эксплуатации может испытывать ударные воздействия в локальной области. Например, это может быть наезд на препятствие. Для ответа на все эти вопросы необходимо знать характеристики материала из которого изготовлен скегг, и метод описания поврежденного материала.

Но на данный момент нет универсальной модели, отражающей все характеристики гибких тканых композитов. Более того, рассматривая скегги судов на воздушной подушке, нет модели учитывающей возникновение возможных повреждений материала. В связи с этим проблема описания механических свойств остается открытой.

Данным вопросом занимаются уже давно и есть некоторые результаты [1] – [3], но все эти работы не описывают интересующие нас факторы и базируются на применении МКЭ и не позволяют описывать последствия ударного повреждения.

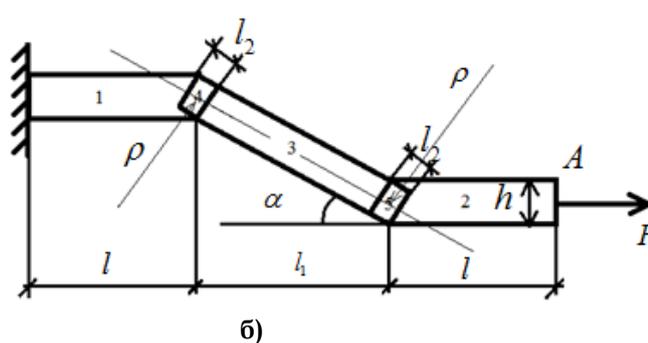
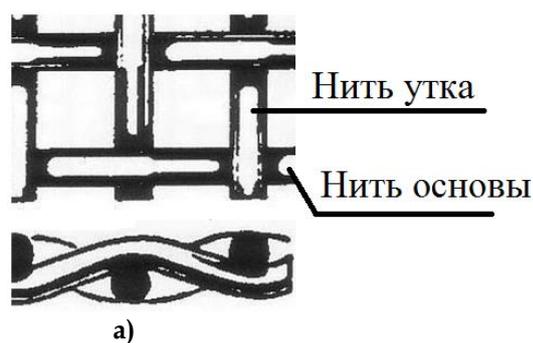


Рис.1. Выделение структурного элемента:

а) Полотняное плетение; б) Участки на структурном элементе.

Полученный структурный элемент можно рассматривать как стержень с прямоугольным сечением, так как направление действия силы совпадает с направлением армирующих элементов в нити.  $\rho$  - радиус кривизны на 4-ом и 5-ом участках и в неповрежденном образце равен  $\infty$ . Предположим, что первый и второй участок будет работать только на растяжение. Третий участок будет работать на сдвиг, а

В данной работе построена модель, отражающая поведение материала при вводимых начальных повреждениях сводящихся к остаточным геометрическим искажениям не только в зоне упругих деформаций, но и в условиях вязкоупругого деформирования.

### Структурная модель поведения тканного композита.

Механические свойства материала определяются армирующими элементами. Рассмотрим расположение армирующих элементов в образце исследуемых материалов. На рис.1а изображена схема тканых композитов с полотняным плетением.

Будем рассматривать случай статического одноосного растяжения вдоль нитей основы и выделим структурный элемент. Это элемент, который периодически повторяется в структуре рассматриваемого материала. Упростим его геометрию и будем рассматривать в виде набора прямолинейных участков. Приложим с правого конца силу  $F$ , а с левый конец жестко закрепим как показано на рис. 1б.

Для нахождения внутренней энергии разобьем наш структурный элемент на несколько участков. На рис. 3 изображен структурный элемент разбитый на такие участки, в зависимости от того как будет каждый из них работать.

четвертый и пятый на изгиб. Причём, на 4-ом и 5-ом участках будем предполагать что, кроме упругих, возникают вязкоупругие деформации. Таким образом, внутреннюю энергию, накопленную в стержне, можно найти как сумму энергий упругих и вязкоупругих деформаций  $U^1 = U_{упр}^1 + U_{вязк}^1$ . Будем

рассматривать балки в данной системе как балки Тимошенко. Внутренняя энергия, накопленная на участках структурного элемента, запишется следующим образом:

$$\begin{aligned} \left( U_{\text{упр}}^1 \right)_1 &= \left( U_{\text{упр}}^1 \right)_2 = \int_0^l \frac{N^2 dz}{2EA}; \quad \left( U_{\text{упр}}^1 \right)_3 = \int_0^l k \frac{Q^2 dz}{2GA}; \\ \left( U_{\text{упр}}^1 \right)_4 &= \left( U_{\text{упр}}^1 \right)_5 = \int_0^{l_2} \frac{M^2 dz}{2EI}; \quad (1) \end{aligned}$$

Для нахождения  $U_{\text{пласт}}^1$  воспользуемся линейной теорией течения с кинематическим упрочнением [4]:

$$\varepsilon = \begin{cases} \frac{\sigma}{E}, \sigma \leq \sigma_t \\ \varepsilon_t + \frac{\sigma - \sigma_t}{E_t}, \sigma > \sigma_t \end{cases}, \quad (2)$$

где  $E$  - модуль Юнга на упругом участке диаграммы деформирования,  $E_t$  - модуль Юнга на вязкоупругом участке диаграммы деформирования,  $\sigma_t$  - предел текучести,  $\varepsilon_t = \sigma_t / E$  - деформации, соответствующие пределу текучести.

Внутренняя энергия, накопленная в стержне от вязкоупругих деформаций, находится как:

$$\left( U_{\text{пласт}}^1 \right)_1 = \left( U_{\text{пласт}}^1 \right)_2 = 2 \int_0^{l_2} \int_0^b \int_0^{h/2} (\sigma^2 - \sigma_t^2) \frac{E - E_t}{2EE_t} dV \quad (3)$$

где  $\eta_0$  - граница между зонами упругого и вязкоупругого деформирования,  $W$  - удельная внут-

ренняя энергия деформаций, накопленная до разрушения материала. Таким образом, внутренняя энергия, накопленная в стержне:

$$U^1 = \begin{cases} U_{\text{упр}}^1, \sigma \leq \sigma_t \\ U_{\text{упр}}^1 + U_{\text{пласт}}^1, \sigma > \sigma_t \end{cases} \quad (4)$$

Для нахождения горизонтального перемещения точки  $A$  воспользуемся теоремой Кастельяно [4]:  $q_i = \partial U / \partial Q_i$ , где  $U$  - внутренняя энергия,

накопленная в структурном элементе,  $q_i$  - перемещение вдоль действия силы  $Q_i$ . Тогда горизонтальное перемещение точки запишется как:

$$\Delta_A = \begin{cases} \frac{\partial U_{\text{упр}}^1}{\partial F}, \sigma \leq \sigma_t \\ \frac{\partial U_{\text{упр}}^1}{\partial F} + \frac{\partial U_{\text{пласт}}^1}{\partial F}, \sigma > \sigma_t \end{cases} \quad (5)$$

#### Учёт влияния повреждений

Введём предположение, что остаточные деформации, возникающие после предварительного ударного нагружения, связаны с изменением радиуса кривизны на четвертом и пятом участках структурного элемента. В упругой области деформации, вносимые повреждением, запишутся как  $\varepsilon_0 = h / \rho_0$ . В вязкоупругой области диаграммы деформирования учёт влияния повреждений можно записать следующим образом:

$$\eta_0 = \varepsilon_0 (\rho \pm \rho_0) = \frac{\sigma_t E_t h}{2(\sigma_t E_t + E(\sigma - \sigma_t))} \pm \frac{\sigma_t}{E} \rho_0 \quad (6)$$

$$\left( \frac{\partial U_{\text{пласт}}^1}{\partial F} \right)_{\text{повр}} = \frac{bl_2 h (E - E_t)}{EE_t} \left\{ 2\sigma \left( 1 \pm \frac{\sigma_t \rho_0}{E h} - \frac{\sigma_t E_t}{\sigma_t E_t + E(\sigma - \sigma_t)} \right) + (\sigma^2 - \sigma_t^2) \left[ \frac{\sigma_t E_t E}{A(\sigma_t E_t + E(\sigma - \sigma_t))^2} \right] \right\}$$

Для проверки полученной модели проведено сравнение с экспериментальными данными. Был проведен ряд экспериментов, в котором участвовали образцы материала с предварительным ударным повреждением в центре образца эквивалентным 300, 550 гр. груза на битке. Для полученных образцов был измерен радиус кривизны в зоне повреждения, затем приложена растягивающая нагрузка вплоть до разрушения и применена построенная модель. Диаграмма деформирования имеет 3-х сегментный вид с параметрами  $E_1, E_2, E_3$ .

Погрешность построенной модели не превышает 20%. Полученная нами модель даёт хорошее качественное описание диаграммы деформирования тканых композитов в условиях статического одноосного растяжения. В результате построенной модели жесткость на первом и втором участках уменьшается с увеличением уровня повреждений, а на третьем возрастает, что соответствует результатам эксперимента. Для более точного количественного сходства необходимо ввести вязкоупругие деформации на первом, втором и третьем структурном участке.

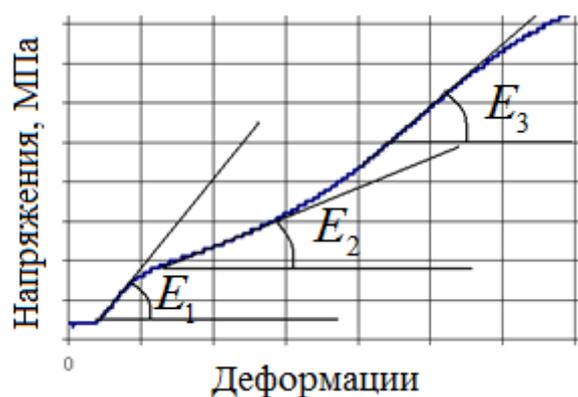


Рис. 2. Схематизация диаграммы деформирования.

Таблица 1

## Результаты сравнения построенной модели с результатами эксперимента

Параметр	Эксперимент, МПа	Теория, МПа	Погрешность, %
Сравнение для неповрежденных образцов			
E <sub>1</sub>	687,5	775,9	12,86
E <sub>2</sub>	305,5	281,9	7,73
E <sub>3</sub>	687,5	656,1	17,8
Сравнение для образцов с предварительным нагружением, эквивалентным 300 гр.			
E <sub>1</sub>	680,6	760,9	11,8
E <sub>2</sub>	275	221,9	19,3
E <sub>3</sub>	687,5	570,7	17
Сравнение для образцов с предварительным нагружением, эквивалентным 550 гр.			
E <sub>1</sub>	675,5	730,6	8,16
E <sub>2</sub>	250	204	18,4
E <sub>3</sub>	692,3	579,4	16,3

## Список литературы

1. Christopher M. Pastore. Illustrated Glossary of Textile Terms for Composites: NASA Contractor Report 191539. - North Carolina, 1993. - 34 p.
2. Zvi Hasbin. Theory of fiber reinforced materials: NASA Contractor Report 1974. - Washington, 1972. - 702 p.
3. Каюмов Р.А. К определению долговечности пленочно – тканевого композиционного материала подвергаемого воздействию солнечной

радиации / Р.А. Каюмов, А.Р. Мангушева, А.Т. Мухаметшин, А.М. Сулейманов // Ученые записки Казанского университета. Физико – математические науки.. т.152, кн.4 - 2010, - С. 158-165.

4. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1965, 856 с.

Леушева Е.А.<sup>1</sup> Нуцкова М.В.<sup>2</sup>

### ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТОВ БУРОВОГО РАСТВОРА НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИ БУРЕНИИ НА ШЕЛЬФЕ

<sup>1</sup>к.т.н., ассистент Национального минерально-сырьевого университета «Горный», г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>к.т.н., ассистент Национального минерально-сырьевого университета «Горный», г. Санкт-Петербург

## АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается вопрос источников загрязнения морских акваторий при бурении скважин. Одним из основных источников является сброс бурового раствора в море. Приведено влияние различных компонентов раствора на окружающую среду. Сделан вывод, что разработка экологически безопасных буровых растворов является одной из первоочередных в области разведки и разработки морских месторождений нефти и газа.

Ключевые слова: бурение, буровой растворов, утилизация раствора, охрана окружающей среды, поверхностно-активные вещества.

## ABSTRACT

*The article considers sources of marine pollution during well drilling. One of the principal sources is the discharge of drilling mud into the sea. Shows the influence of different solution components in the environment. Conclusion is drawn that the development of environmentally safe drilling fluids is one of the primary in the exploration and development of offshore oil and gas.*

*Keywords: drilling, drilling fluids, waste solution, environmental protection, surfactants.*

В настоящее время охрана окружающей среды становится чрезвычайно важным аспектом в нефтяной промышленности всех стран мира.

В последнее время законодательство ужесточилось, в результате чего выходят новые директивы, влияющие на выбор типа раствора, а также на направления исследований в области разработки буровых растворов. Одна из главных экологических проблем - применение растворов на углеводородной основе, особенно это касается морского бурения. Сброс бурового раствора в воду распространен повсеместно, при этом на многих платформах углеводородный буровой раствор готовится на суше, в цехе по приготовлению бурового раствора и транспортируется на буровую судами. Затем данный раствор переправляется обратно в цех для центрифугирования и восстановления. Такой способ применяется при закрытой циркуляции бурового раствора. Наиболее спорным моментом является удаление шлама, который обычно в настоящее время сбрасывается в море. Кроме того, при открытом способе циркуляции промывочной жидкости часть раствора также сбрасывается в окружающую воду, однако такой способ не применяется при использовании растворов на УВ основе [1,2,3].

Биологическое наблюдение показывает, что наибольшее воздействие на окружающую среду от сбрасываемого шлама, содержащего нефть, распространяется в радиусе 500 метров от буровой установки или платформы. На расстоянии 2000 м наблюдалось небольшое воздействие на окружающую среду.

Образование отложений, органическое обогащение и токсичность одновременно влияют на морскую флору и фауну вблизи буровой. Органическое обогащение - это перегруженность седиментационной подушки органическими материалами (в данном случае - нефтью). Биоразложение требует большого количества кислорода, в результате чего образуется бескислородное пространство, непригодное для жизни.

Помимо растворов на УВ основе при бурении на море применяют синтетические и растворы на водной основе, последние являются наименее токсичными. Более подробно остановимся на последней группе, поскольку буровые растворы первых двух групп практически не сбрасываются (по крайней мере, официально).

Химический состав бурового раствора зависит от его назначения, типа пород и метода бурения, хотя существует ряд обязательных моментов. Непременным компонентом любого бурового раствора является бентонит (монтмориллонитовая глина). Глина используется как структурообразователь раствора и регулятор вязкости. В некоторых случаях применяется палыгорскитовая глина - атапульгит.

Аномально высокие пластовые давления часто превышают гидростатическое давление столба бурового раствора в скважине, поэтому его необходимо утяжелять, для чего применяется баритовый утяжелитель (безводный сульфат бария). В качестве регулятора щелочности применяются такие реагенты, как каустическая сода (NaOH). Поверхностно-активные вещества (ПАВ) также входят в состав любого бурового раствора. В качестве ПАВ используют сульфанола, дисолван, стеарокс и различные оксиэтилированные спирты. Для дегазации буровых растворов используют реагенты-пеногасители: соапсток, карболинеум, синтетические жирные кислоты и т.д. Для поддержания постоянной плотности бурового раствора используют реагенты-понижители водоотдачи (углещелочной реагент, карбоксиметилцеллюлоза, гидролизированный полиакриламид) и понижители вязкости (феррохромлигносульфонат, нитролигнин, сунил и т.д.). Кроме того, применяются вещества-ионофоры (известь, бикарбонат натрия), термостабилизаторы, эмульгаторы, смазочные добавки, ингибиторы коррозии и биоциды [3].

Остановимся на безопасных и предельно допустимых концентрациях некоторых реагентов при бурении в морской акватории.

Для барита безопасной считается концентрация - 50 мг\л. Кроме того, барит усиливает токсичность других компонентов буровых растворов.

Из органических компонентов наиболее токсичными являются реагенты на основе лигносульфонатов. Конденсированная сульфит-спиртовая барда (КССБ) допустимой концентрацией КССБ считается 0,3 мг\л.

Феррохромлигносульфонат (ФХЛС) - ПДК для ФХЛС составляет 0,2 мг\л.

Необработанный лигносульфонат менее токсичен.

Применяемые при бурении ПАВ (сульфанола, дисолван) также негативно влияют на обитателей моря.

Из физико-химических параметров воды под действием буровых растворов изменяются pH, электропроводность, окисляемость, соленость и концентрация ионов.

Бикарбонат натрия считается еще более токсичным, чем каустик.

Нефтедобывающие компании часто ссылаются на то, что используемые при бурении вещества малотоксичны, и их сброс не превышает норму. Но при этом имеется в виду оценка степени токсичности по американским стандартам, и норма – по средним объемам сброса.

Между тем, оценить реальную степень токсичности вещества, пользуясь классификацией Американского института нефтяных исследований, довольно сложно. Так, например, по этой классификации практически все реагенты, о которых говорилось выше (кроме дисолвана) относятся к категориям малотоксичных и не токсичных веществ, хотя с этим трудно согласиться. Пользуясь несовершенством нашего законодательства, нефтедобывающие компании сами декларируют норму сброса каждого компонента. Но, даже если считать, что эти нормы соблюдаются, то они в несколько тысяч раз превышают безопасные для гидробионтов концентрации, а по некоторым реагентам и более.

В полном буровом растворе взаимное влияние компонентов друг на друга еще более усиливает токсический эффект каждого из них.

Так исследования фито- и зоопланктона в районе буровых платформ сахалинского шельфа показали, что на этом участке, под влиянием буровых сбросов, планктонное сообщество подверглось значительному угнетению. Особенно пострадали представители крупного зоопланктона – погибло более 40% животных.

В целом, все исследователи отмечают падение биомассы и плотности планктона в районе буровых

сбросов. В донных сообществах происходит исчезновение стенобионтных и оксифильных форм (ветвистоусых, веслоногих, пиявок, хиромонид). Вместо них появляются коловратки и олигохеты. При действии небольших концентраций бурового раствора на расстоянии 1 км от нефтедобывающей платформы в Северном море наблюдалось снижение числа видов и индекса видового разнообразия, возросло количество видов-оппортунистов [3].

В целом, изменения, происходящие под влиянием буровых растворов на экосистемном уровне, сводятся к следующему:

- уменьшение продолжительности жизни в большинстве популяций;
- полное исчезновение некоторых видов;
- аномальные всплески численности отдельных форм;
- смена доминирующих и субдоминирующих видов.

Таким образом, перед буровыми компаниями, занимающимися бурением скважин на море, достаточно остро стоит вопрос снижения экологической опасности загрязнения вод мирового океана. Поэтому задача разработки экологически безопасных буровых растворов является одной из первостепенных в области разведки и разработки морских месторождений нефти и газа.

#### Список литературы:

1. Вадецкий Ю.В. Бурение нефтяных и газовых скважин: учебник для нач. проф. образования. М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 352 с. ISBN № 5-7695-1119-2.
2. Грей Дж.Р., Дарли Г.С.Г. Состав и свойства буровых агентов (промывочных жидкостей): пер. с англ. М.: Недра, 1985. 509 с.
3. Ягафарова Г.Г., Баракшина В.Б. Утилизация экологически опасных буровых отходов // Нефтегазовое дело. – 2006. 17с.

*Ефименко А. А.<sup>1</sup>, Меркулова А.О.<sup>2</sup>, Рамусь Р. О.<sup>3</sup>, Вышемирский Д. Е.<sup>4</sup>*

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛА СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ СТАЛИ КАТЕГОРИИ ПРОЧНОСТИ К60**

<sup>1</sup>*д.т.н., профессор Российского Государственного Университета Нефти и Газа имени И.М. Губкина, г. Москва;*

<sup>2</sup>*ассистент Российского Государственного Университета Нефти и Газа имени И.М. Губкина, г. Москва;* <sup>3</sup>*аспирант Российского Государственного Университета Нефти и Газа имени И.М. Губкина, г. Москва;* <sup>4</sup>*аспирант Российского Государственного Университета Нефти и Газа имени И.М. Губкина, г. Москва*

ENSURING STRENGTH CHARACTERISTICS OF METAL PIPELINE FITTINGS MADE OF STEEL CATEGORIES K60

Efymenko Lyubov Prof. Russian State University Oil and Gas Gubkin, Moscow

Merkulova Arina, assistant Russian State University Oil and Gas Gubkin, Moscow

Ramus Ruslan O. graduate student Russian, State University Oil and Gas Gubkin, Moscow Vyshemirskii Dmitry

E. graduate student Russian State University Oil and Gas Gubkin, Moscow

АННОТАЦИЯ

Определены условия обеспечения прочности штампованных соединительных деталей на уровне основного металла при термической обработке стали 10Г2ФБЮ.

ABSTRACT

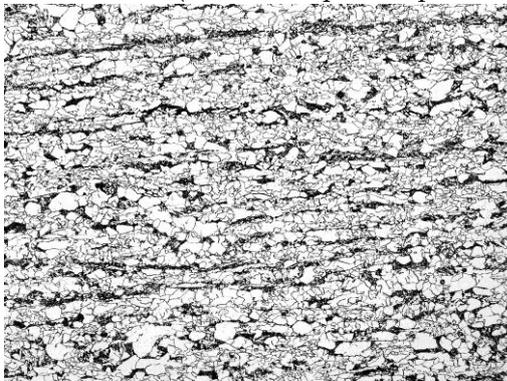
Determine the conditions ensure the strength of stamped connecting parts at the basic metal at heat-treated steel 10G2FBYU.

Ключевые слова: высокопрочная сталь, термическая обработка, твердость

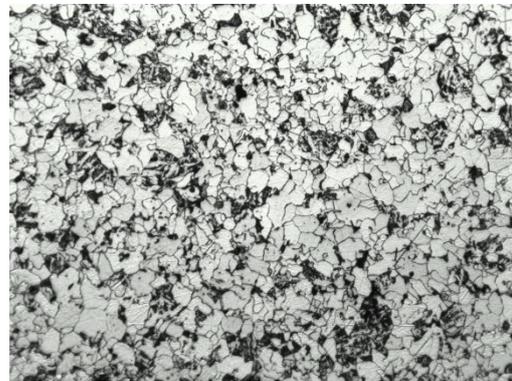
Keywords: high-strength steel, heat treatment, hardness

Технология сварки соединительных деталей трубопроводов связана с применением процессов горячей штамповки (штампосварные отводы) и штамповки и вытяжки (штампосварные тройники) [2,

с.47]. Это приводит к изменению структуры металла по сравнению с исходной (рисунок 1) и, как следствие, к снижению его прочности.



А)



Б)

Рисунок 1. Микроструктура стали 10Г2ФБЮ: а) в исходном состоянии, б) после штамповки

В данной работе рассмотрена возможность восстановления прочностных характеристик металла за счет применения термической обработки по режиму закалки с отпуском готовых штампованных отводов из стали 10Г2ФБЮ.

На основе исследования влияния температуры на кинетику распада аустенита при термической обработке был определен интервал скоростей охлаждения, позволяющий повысить твердость стали 10Г2ФБЮ от 170 HV до исходных значений 210-230 HV (рисунок 2).

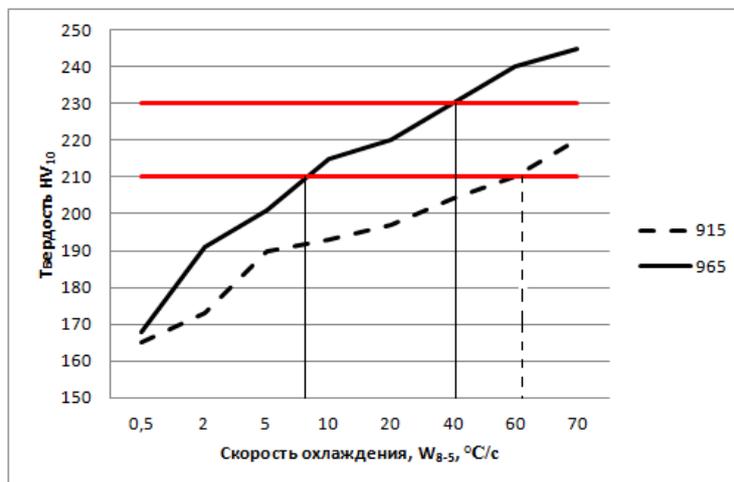


Рисунок 2. Изменение твердости при различных скоростях охлаждения при температурах аустенизации: - - - 915°C и - 965°C

Как видно из рисунка 2 максимальная температура нагрева около 915 °С даже при скоростях охлаждения порядка 60 °С/с значения твердости не превышают 210 HV. При максимальной температуре нагрева порядка 965 °С требуемые значения твердости обеспечиваются в интервале скоростей охлаждения от 10 °С/с до 40 °С/с. Следует ожидать, что последующий отпуск будет способствовать снижению твердости, обеспеченной в процессе закалки, то есть скорости охлаждения при закалке должны быть выше установленных по рисунку 2 и будут легче реализованы при максимальной температуре нагрева 965°С.

Для реализации различных скоростей охлаждения при термической обработке в качестве закалочной среды использовалась вода с температурами:

20-25°С, 40-45°С, 60-65°С, 80-85°С. Была подготовлена серия образцов из стали 10Г2ФБЮ размерам 12x12x12. В середину и к поверхности каждого образца приваривались хромель-алюмелевые термопары; отверстия заливались герметиком; термопары подсоединялись к регистратору «Мемограф-М». Объем емкости для охлаждающей жидкости составлял 23 м<sup>3</sup>. (При закалке реальных соединительных деталей (отводов) с учетом их массы он должен быть около 100 м<sup>3</sup>). Образцы после закалки подвергались отпуску при температуре 500-550°С.

Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1

Твердость стали после термической обработки

№	Закалка	Отпуск (выдержка 60 мин, охлаждение на воздухе)	Скорость охлаждения при закалке $w_{800-500}$ , °С/с	HV стали после закалки	HV стали после закалки и отпуска
1	Температура нагрева 965°С; время выдержки 20-25 минут; охлаждение в воде 20-25 °С	500-550 °С	150-136	310	242-245
2	Температура нагрева 965°С; время выдержки 20-25 минут; охлаждение в воде 40-45 °С	500-550 °С	104-100	250	210-213
3	Температура нагрева 965°С; время выдержки 20-25 минут; охлаждение в воде 60-65 °С	500-550 °С	86-58	230	231-236
4	Температура нагрева 965°С; время выдержки 20-25 минут; охлаждение в воде 80-85 °С	500-550 °С	30-20	220	231-233

Из представленных данных видно, что чтобы обеспечить уровень твердости после отпуска порядка 210 HV, необходимо, чтобы твердость после закалки составляла не менее 250 HV. Для обеспечения значения твердости основного металла порядка 240 HV ее значения после закалки должны быть около 310 HV. Указанные значения твердости могут быть обеспечены при охлаждении металла в процессе закалки со скоростями порядка 100°С/с и 140°С/с соответственно.

#### Список литературы:

1. Ботвинников А.Ю., Нейфельд О.И., Ефименко Л.А., Капустин О.Е. Влияние термической обработки на структуру и свойства сварных соединений при изготовлении штампосварных деталей из стали 10Г2ФБЮ // Сварочное производство, № 12, 2008 г., С. 13-15.
2. Ефименко Л.А., Нейфельд О.И. Исследование особенностей кинетики распада аустенита при сварке стали 10Г2ФБЮ // Химическое и нефтегазовое машиностроение, №5, 2008 г., С. 47-48

Осина Т.М.<sup>1</sup>; Михайлов А.Б.<sup>2</sup>; Прохоров В.Т.<sup>3</sup>; Афанасьева Р.Ф.<sup>4</sup>

## О НОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПО СОЗДАНИЮ КОМФОРТНЫХ УСЛОВИЙ ЧЕЛОВЕКУ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты; <sup>2</sup>к.т.н., доцент, ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты;  
<sup>3</sup>д.т.н., проф., ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты; <sup>4</sup>д.м.н., проф. НИИ РАМН «Медицины труда» г. Москва

### ABOUT THE NEW FEATURES OF THE SOFTWARE ON CREATION OF COMFORTABLE CONDITIONS IN EXTREME CONDITIONS

Osina Tatiana Matveevna, Ph.D., associate professor, ISOiP (branch) DSTU, Shakhty;  
Mikhailov Andrey Borisovich; Ph.D., associate professor, ISOiP (branch) DSTU, Shakhty;  
Prokhorov Vladimir Timofeevich, Doctor of Technical science, prof., ISOiP (branch) DSTU, Shakhty;  
Afanasyeva Ralema Fedorovna, MD, prof. Research Institute of Medical Sciences "Industrial Medicine", Moscow

#### АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается возможность программного продукта для формирования комфортных условий человеку, находящемуся в климатических зонах как повышенной температуры, так и с низкой температурой. При этом разработанный программный продукт может быть использован для создания комфортных условий человеку, работающему в горячих цехах. Результаты были апробированы в процессе опытной эксплуатации в климатической камере НИИ РАМН «Медицины труда».

#### ABSTRACT

The possibility of a software product for the formation of comfort a person in climates as high temperature and low temperature. At the same time developed a software product can be used to create favorable conditions a person working in hot shops. The results were tested in the pilot operation in a climate chamber Research Institute of Medical Sciences «Industrial Medicine».

*Ключевые слова:* комфортные условия, программный продукт, уравнение теплопроводности, температуропроводность, тепловой баланс.

*Keywords:* comfort, a software product, the heat equation, thermal conductivity, heat balance.

Существующая актуальная потребность в средствах индивидуальной защиты сопряжена с большими материальными и объективными сложностями, которые возникают при разработке и тестировании новых образцов защиты человека от окружающей среды. Подчас испытатели рискуют в большей степени, тестируя образец в максимально допустимых условиях, в отличие от тех, для кого предназначаются разрабатываемые комплекты индивидуальной защиты. Поэтому математическое моделирование системы «человек – костюм – окружающая среда» - эффективный инструмент, позволяющий сократить число натуральных экспериментов.

При эксплуатации костюма в различных климатических зонах возникает ситуация создания таких условий, при которых человека должен ощущать комфортность в течение всего времени нахождения человека в этих условиях. Для реализации такой задачи использовались специальные эксперименты, позволяющие проследить ситуацию изменения теплового состояния тела человека в исследуемых образцах костюма при различной температуре воздуха [1].

Если человек ощущал дискомфорт, то принималось решение, что такое соотношение выбранных материалов костюма не обеспечивает защиту че-

ловека от воздействия на него повышенных температур. Естественно, что такие эксперименты являлись затратными и материалоемкими, так как требовали проведения большого количества опытов в естественных условиях, или в специальных климатических камерах с привлечением большого числа носчиков, но это все равно не гарантирует от ошибок и практически неосуществимо при рассмотрении костюма, который может быть предложен человеку для его нахождения в этих условиях.

Кроме экспериментальных методов определения теплозащитных свойств обуви, используются аналитические, основанные на определении суммарного сопротивления теплопереходу от поверхности тела человека к внешней среде через пакеты материалов костюма. В выражение этого суммарного сопротивления входит средний коэффициент теплообмена костюма с внешней средой, который обычно рассчитывается по критериальным уравнениям и не позволяет выявить те участки тела человека, которые наиболее подвержены влиянию повышенных температур, и защитить именно их от этого воздействия. Поэтому так важно разработать математическую модель для обоснования выбора пакетов

материалов костюма с целью создания комфортности человека с учетом продолжительности нахождения человека в экстремальных условиях [2,6].

Определение основных требований к теплозащитным свойствам костюма позволит разработать рациональный ассортимент обуви для населения, проживающего в различных климатических зонах с повышенными температурами.

С другой стороны отдельно от задач инженерного проектирования костюма существует математическое моделирование системы «человек-костюм-окружающая среда», которое нацелено на исследование состояния человека в рамках поставленных условий моделирования. В системах автоматизированного проектировании одежды инженером-конструктором задаются коэффициенты на основании своего опыта и интуиции, а также общепринятых расчётов, базирующихся на математических моделях высокой точности. Разработка математических моделей системы «человек-костюм-окружающая среда», позволяющих создать алгоритмы расчета исходных параметров для средств индивидуальной защиты человека, является актуальной и прямой задачей математического моделирования в рамках разработки средств индивидуальной защиты человека, находящегося в климатических зонах с повышенной температурой [3].

Аппроксимирующие человеческое тело фигуры рассматриваются, как системы с распределен-

ными или сосредоточенными параметрами. При аппроксимации тела одним цилиндром можно говорить, только о приближенном воспроизведении теплового режима человека. Грубое приближение обеспечивается моделями, в которых теплопроводность, теплопродукция и теплопотери тканей тела, принимаются постоянными по всей толщине цилиндра или слоя. Большинство авторов не учитывают систему физиологической терморегуляции человека. Они рассматривают человека в комфортных условиях, когда механизмы терморегуляции бездействуют. В наших исследованиях учитывается система терморегуляции. Кровоток в тканях, метаболическая теплопродукция и теплопотери испарением, рассматриваются как функции, средней температуры тела; температуры мозга и средней температуры кожи; температуры мозга, кожи и теплового потока с поверхности кожи [4,5]. Анализ существующих математических моделей теплового состояния человека в условиях влияния факторов окружающей среды позволяет предположительно определить форму элементов человеческого тела, которое можно разделить на следующие участки: голова – шар; руки, ноги – цилиндры; туловище – набор эллиптических цилиндров – это в грубом приближении.

Таким образом, человека можно представить в виде совокупности геометрических фигур, изображенных на рис. 1а.

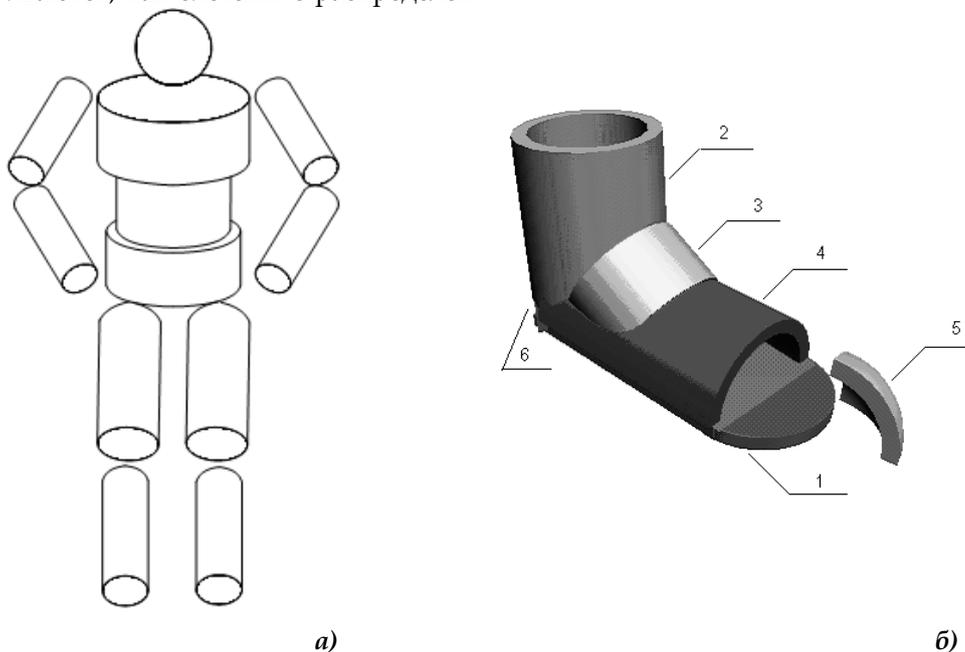


Рисунок 1. Геометрическое формирование образа и стопы человека

В основу концепции математического формирования стопы положено представление её для обуви как совокупности многослойных пакетов материалов различной формы и состава. Для ее разра-

ботки с помощью программы 3D Studio MAX 5 построили геометрический образ модели обуви (на примере ботинка) (рис. 1б.).

Модель обуви построена с использованием базовых геометрических объектов:

- 1 – подошва (составная многослойная пластина);
- 2 – голенище (вертикальный многослойный цилиндр);
- 3 – пяточно-перейменный участок (многослойный цилиндрический сегмент, развернутый под углом к продольной оси модели);
- 4 – пучковый участок (горизонтальный многослойный цилиндрический сегмент);
- 5 – носочная часть (многослойный сферический сегмент);
- 6 – пяточная часть (вертикальный многослойный цилиндрический сегмент).

Тепловые сопротивления верха и низа, обычно рассматриваемых как системы, состоящие из отдельных материалов, представляют собой сумму тепловых сопротивлений отдельных слоев и прослоек (наружные детали, подкладка, межподкладка, прослойки технологических клеев, воздуха и т.д.), а также сумму сопротивлений переходу тепла из одной среды в другую на границе, разделяющей отдельные слои. Основными факторами, влияющими на температуру внутрикостюмного пространства при построении математической модели, являются температура окружающей среды, теплообразование тела человека, теплофизические свойства материалов, составляющих пакеты, форма этих пакетов и теплоотдача с внешней поверхности комплекта костюма в окружающую среду [6].

Основным критерием комфортного состояния стопы человека в обуви принято значение температуры внутриобувного пространства в пределах от 21 до 25°C. При этом, в условиях низких температур, как правило, не учитывается потоотделение стопы в силу его малого влияния на процесс теплообмена. При повышенной температуре окружающего воздуха основная роль в сохранении постоянной температуры тела принадлежит коже, через которую осуществляется теплоотдача путем излучения, проведения и испарения. Когда температура окружающего воздуха совпадает с температурой тела человека, теплоотдача осуществляется преимущественно за счет потоотделения (испарение 1 л воды ведет к потере тепла, равной 580 кал). Поэтому, при повышенной влажности и высокой температуре воздуха, когда испарение пота затруднено, чаще всего возникает перегрев организма человека. Такие случаи возникают при работе в плотной неvented одежде и, особенно, в защитных противохимических костюмах. В этой связи, очень важно учитывать потоотделение при проектировании обуви и одежды, обеспечивающих необходимое время комфортного пребывания в условиях повышенных температур.

К показателям, характеризующим тепловое состояние человека, относятся температура тела,

температура поверхности кожи и ее топография, теплоощущения, количество выделяемого пота, состояние сердечно-сосудистой системы и уровень работоспособности.

Температура тела человека характеризует процесс терморегуляции организма. Она зависит от скорости потери теплоты, которая, в свою очередь, зависит от температуры и влажности воздуха, скорости его движения, наличия тепловых излучений и теплозащитных свойств одежды. Выполнение работ категорий Пб и III сопровождается повышением температуры тела на 0,3...0,5 °C. При повышении температуры тела на 1° C начинает ухудшаться самочувствие, появляются вялость, раздражительность, учащаются пульс и дыхание, снижается внимательность, растет вероятность несчастных случаев. При температуре 39°C человек может упасть в обморок.

Температура кожного покрова человека, находящегося в состоянии покоя в комфортных условиях, находится в пределах 32...34 °C. С повышением температуры воздуха она также растет до 35 °C, после чего возникает потоотделение, ограничивающее дальнейшее увеличение температуры кожи, хотя в отдельных случаях (особенно при высокой влажности воздуха) она может достигать 36...37 °C. Установлено, что при разности температур на центральных и периферических участках поверхности тела менее 1,8°C человек ощущает жару; 3...5 °C – комфорт; более 6 °C – холод. При увеличении температуры воздуха также уменьшается разница между температурой кожи на открытых и закрытых участках тела.

Большинство применяемых материалов в первом приближении можно считать изотропными, а зависимость их коэффициентов теплопроводности  $\lambda$  от температуры можно аппроксимировать линейной функцией

$$\lambda(T) = \lambda_0(1 + \beta\Delta T), \quad (\Delta T = T - T_0),$$

где  $\lambda_0$  – теплопроводность при температуре  $T = T_0$ ;  $\beta$  (1/град) – коэффициент пропорциональности, определяемый из эксперимента.

Для плоских пакетов ( $\nu = 0$ ), а также пакетов цилиндрической ( $\nu = 1$ ) и сферической ( $\nu = 2$ ) формы краевая задача теплообмена в работе ставится следующим образом.

$$c_i(T_i)\rho_i(T_i)\frac{\partial T_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial r_i}\left(\lambda_i(T_i)\frac{\partial T_i}{\partial r_i}\right) + \frac{\nu}{r_i}\lambda_i(T_i)\frac{\partial T_i}{\partial r_i}, \quad (1)$$

$i = 1, \dots, n, R_{i-1} < r_i < R_i$ . Граничные условия:

- теплоотдача с поверхности пакета в окружающую среду осуществляется по закону Ньютона:

$$\lambda_n(T_n) \frac{\partial T_n}{\partial r_n}(l_n, t) + \alpha(T_n(R_n, t) - T_c) = 0, \quad (2)$$

- внутренняя поверхность пакета материалов нагревается тепловым потоком стопы плотности  $q$ :

$$T_{i-1}(R_{i-1}, t) = T_i(R_{i-1}, t);$$

$$\lambda_{i-1}(T_{i-1}) \frac{\partial T_{i-1}}{\partial r_{i-1}}(R_{i-1}, t) = \lambda_i(T_i) \frac{\partial T_i}{\partial r_i}(R_{i-1}, t). \quad (4)$$

Начальные условия:

$$T_i(r_i, 0) = f_i(r_i). \quad (5)$$

Задача решается при предположении, что коэффициенты температуропроводности не зависят от температуры (это условие выполняется для многих теплозащитных материалов) и при условии, что коэффициенты пропорциональности  $\beta$  принимают равные усредненные значения для всех слоев.

Задача (1) - (5) описывает процесс теплообмена в системе «стопа - обувь - окружающая среда» при низкой температуре окружающей среды. Основным критерием комфортного состояния стопы человека в обуви принималась температура внутриобувного пространства, не ниже 21°C. При этом в условиях низких температур не учитывалось потоотделение стопы в силу его малого влияния на процесс теплообмена. При повышенной температуре окружающего воздуха основная роль в сохранении постоянной температуры тела принадлежит коже, через которую осуществляется теплоотдача путем излучения, проведения и испарения. Когда температура окружающего воздуха доходит до температуры тела человека, теплоотдача осуществляется преимущественно за счет потоотделения (испарение 1 л воды ведет к потере тепла, равной 580 кал). Поэтому при повышенной влажности и высокой температуре воздуха, когда испарение пота затруднено, чаще всего возникает острое перегревание организма. Такие условия нередко возникают при работе в плотной невентилируемой одежде или обуви и особенно в защитных противохимических костюмах. Поэтому очень важно учитывать потоотделение при проектировании обуви и одежды, обеспечивающих необходимое время комфортного пребывания в условиях повышенных температур. Для построения математической модели введем следующие обозначения:

$T_c$  - температура окружающей среды (°C);

$U_c$  - парциальное давление паров влаги в окружающей среде (мм. рт. ст.);

$$\lambda_1(T_1) \frac{\partial T_1}{\partial r_1}(0, t) + q = 0; \quad (3)$$

- между слоями обуви предполагается идеальный контакт, который выражается условиями сопряжения на стыках:

$t$  - время (ч);

$r_i$  - координата  $i$ -го слоя пакета (м),

$R_{i-1} < r_i < R_i$ ;

$[R_{i-1}; R_i]$  - границы  $i$ -го слоя пакета;

$\mathcal{T}_i(r_i; t)$  - температура  $i$ -го слоя пакета (°C);

$\mathcal{U}_i(r_i; t)$  - парциальное давление паров влаги для  $i$ -го слоя пакета (мм. рт. ст.);

$T_i(r_i; t) = \mathcal{T}_i(r_i; t) - T_c$  - относительная температура  $i$ -го слоя пакета (°C);

$U_i(r_i; t) = \mathcal{U}_i(r_i; t) - U_c$  - относительное парциальное давление паров влаги для  $i$ -го слоя пакета (мм. рт. ст.);

$\lambda_i$  - коэффициент теплопроводности  $i$ -го слоя пакета (Вт/(м·°C));

$d_i$  - коэффициент паропроводности  $i$ -го слоя пакета (кг/(м·ч·мм.рт.ст.));

$a_{11}(i)$  - коэффициент температуропроводности  $i$ -го слоя пакета (м²/ч);

$a_{22}(i)$  - коэффициент диффузии паров  $i$ -го слоя пакета (м²/ч);

$a_{12}(i)$  - коэффициент диффузной теплопроводности  $i$ -го слоя пакета (м²/ч);

$a_{21}(i)$  - коэффициент термодиффузии паров  $i$ -го слоя пакета (м²/ч);

$q(t)$  - плотность теплового потока стопы (Вт/м²);

$M(t)$  - плотность потока массы влаги, выделяемой стопой (кг/(м²·ч));

$\alpha$  - коэффициент теплоотдачи (Вт/(м²·°C));

$\beta$  - коэффициент массоотдачи (кг/(м²·ч·мм.рт.ст.));

Для описания процесса тепло-массопереноса в системе «человек - костюм (обувь) - окружающая среда» используется система уравнений сушки (Лыков А.В.):

$$\begin{cases} \frac{\partial T_i}{\partial t} = a_{11}(i) \left( \frac{\partial^2 T_i}{\partial r_i^2} + \frac{\delta}{r_i} \frac{\partial T_i}{\partial r_i} \right) + a_{12}(i) \left( \frac{\partial^2 U_i}{\partial r_i^2} + \frac{\delta}{r_i} \frac{\partial U_i}{\partial r_i} \right); \\ \frac{\partial U_i}{\partial t} = a_{21}(i) \left( \frac{\partial^2 T_i}{\partial r_i^2} + \frac{\delta}{r_i} \frac{\partial T_i}{\partial r_i} \right) + a_{22}(i) \left( \frac{\partial^2 U_i}{\partial r_i^2} + \frac{\delta}{r_i} \frac{\partial U_i}{\partial r_i} \right), \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

При  $\delta = 0, 1, 2$  получаем систему уравнений сушки для многослойных пластины, цилиндра и сферы соответственно.

Рассматриваются следующие граничные условия. Тепловой поток стопы, поступающий на внутреннюю поверхность обуви, равен  $q(t)$

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r_1}(R_0, t) + q(t) = 0; \quad (7)$$

Плотность потока массы влаги, выделяемой стопой, равен  $M(t)$

$$d_1 \frac{\partial U_1}{\partial r_1}(R_0, t) + M(t) = 0; \quad (8)$$

Теплообмен на поверхности обуви происходит по закону Ньютона

$$\lambda_n \frac{\partial T_n}{\partial r_n}(R_n, t) + \alpha T_n(R_n, t) = 0; \quad (9)$$

Массообмен на поверхности обуви выражается равенством:

$$d_n \frac{\partial U_n}{\partial r_n}(R_{n-1}, t) + \beta U_n(R_{n-1}, t) = 0; \quad (10)$$

между слоями низа обуви предполагается идеальный контакт, который выражается условиями сопряжения на стыках:

$$T_{i-1}(R_{i-1}, t) = T_i(R_{i-1}, t), \quad (11)$$

$$\lambda_{i-1} \frac{\partial T_{i-1}}{\partial r_{i-1}}(R_{i-1}, t) = \lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial r_i}(R_{i-1}, t), \quad i = 2, \dots, n, \quad (12)$$

$$U_{i-1}(R_{i-1}, t) = U_i(R_{i-1}, t), \quad (13)$$

$$h_{i-1} \frac{\partial U_{i-1}}{\partial r_{i-1}}(R_{i-1}, t) = h_i \frac{\partial U_i}{\partial r_i}(R_{i-1}, t), \quad i = 2, \dots, n. \quad (14)$$

Начальные условия:

$$T_i(r_i, 0) = f_i(r_i). \quad (15)$$

$$U_i(r_i, 0) = g_i(r_i), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (16)$$

Приближенное решение задачи (7) - (16) ищется методом Бубнова - Галеркина с использованием преобразования Лапласа.

Программные продукты для реализации математической модели написаны с помощью прикладных математических пакетов MAPLE и предназначены для расчета распределения температуры и парциального давления в процессе тепло-массообмена в системе «человек - костюм (обувь) - окружающая среда» для многослойного пакета материалов в том случае, когда человек находится в различных климатических условиях.

В качестве примера рассмотрим теоретический расчет тепломассообмена через подошву обуви при повышенной температуре внешней среды, равной 40°C. Характеристика пакета материалов низа обуви приведена в таблице 1.

Таблица 1

Состав низа обуви

№ слоя	Материал слоя	Толщина слоя (мм)
1	Хлопчатобумажный носок	2
2	стелька	5
3	картон	1,8
4	подошва	10

Плотность теплового потока стопы - 10 Вт/м<sup>2</sup>, плотность потока массы влаги, выделяемой стопой - 0,02 ((кг/(м<sup>2</sup> ч)). Результаты расчетов изменения температуры и парциального давления паров внутриобувного пространства приведены на рисунках 3 и 4, на которых кривая 1 - для пакетов материалов для низа обуви использовали в качестве подошвы

непористую водонепроницаемую резину; а кривая 2 - для пакета материалов для низа обуви, когда в качестве подошвы использовали материал, изготовленный по нанотехнологии и обладающий способностью к вентеляции, т.е. к обмену воздуха в внутриобувном пространстве.

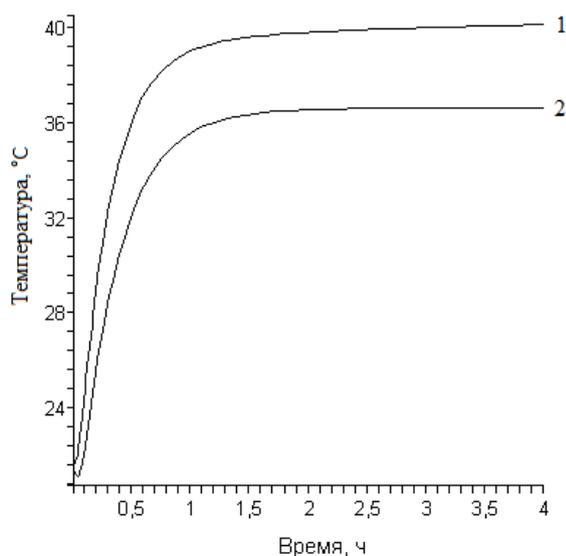


Рисунок 3. Характеристика температуры внутриобувного пространства

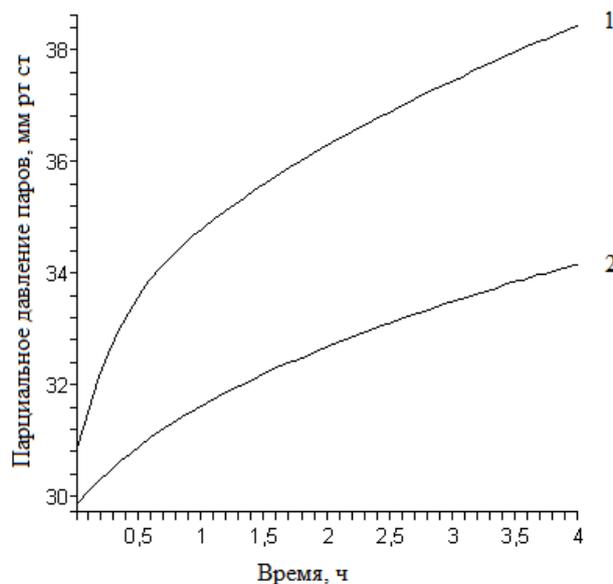


Рисунок 4. Характеристика парциального давления паров внутриобувного пространства

В таблице 2 представлена характеристика пакетов материалов модели 1 и 8 при нахождении в климатических зонах с пониженной температурой.

Таким образом, разработан авторами программное обеспечение создает основу формирования

комфортных условий человеку в любых экстремальных условиях, основанным на его нахождении в климатических зонах с повышенными и пониженными температурами.

Таблица 2

**Характеристика пакетов материалов с отличительными признаками**

№	Материалы, входящие в пакет	Толщина материалов (мм)	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ (Вт/(м·°C))	Коэффициент температуропроводности $a$ (м <sup>2</sup> /ч)
1	<b>1. для союзки обуви</b>			
	Х/б носок	2	0,05	0,0005
	Меховая овчина	8	0,039	0,0003
	Бязь	0,3	0,038	0,0005
	Поролон	6	0,07	0,00065
	Полукожник хромового дубления	1,2	0,067	0,00021
	<b>2. для носочной части обуви</b>			
	Х/б носок	2	0,05	0,0005
	Меховая овчина	8	0,039	0,0003
Гранитоль	1,2	0,051	0,00046	

	Термобязь	0,3	0,033	0,00047
	Поролон	6	0,07	0,00065
	Полужонок хромового дубления	1,2	0,067	0,00021
	<b>3.для низа обуви</b>			
	Х/б носок	2	0,05	0,0005
	Меховая овчина	10	0,041	0,0003
	Картон (вкладная стелька)	0,8	0,12	0,00017
	Картон стелечный	2	0,09	0,00014
	Стелька из войлока	5	0,04	0,00035
	Пористая резина	8	0,07	0,00065
8	<b>1.для союзки обуви</b>			
	Шерстяной носок	3	0,03	0,00042
	Мех оленя	7	0,037	0,00028
	Меховая овчина в два слоя	18	0,039	0,0003
	<b>2. для носочной части обуви</b>			
	Шерстяной носок	3	0,03	0,00042
	Меховая овчина в два слоя	18	0,039	0,0003
	Гранитоль	1,2	0,051	0,00046
	Термобязь	0,3	0,033	0,00047
	Мех оленя	7	0,037	0,00028
	<b>3.для низа обуви</b>			
	Шерстяной носок	3	0,03	0,00042
	Искусственный мех	6,5	0,04	0,0003
	Картон (вкладная стелька)	0,8	0,12	0,00017
	Картон стелечный	2	0,09	0,00014
Стелька из войлока	6	0,04	0,00035	
Пористая резина	8	0,07	0,00065	

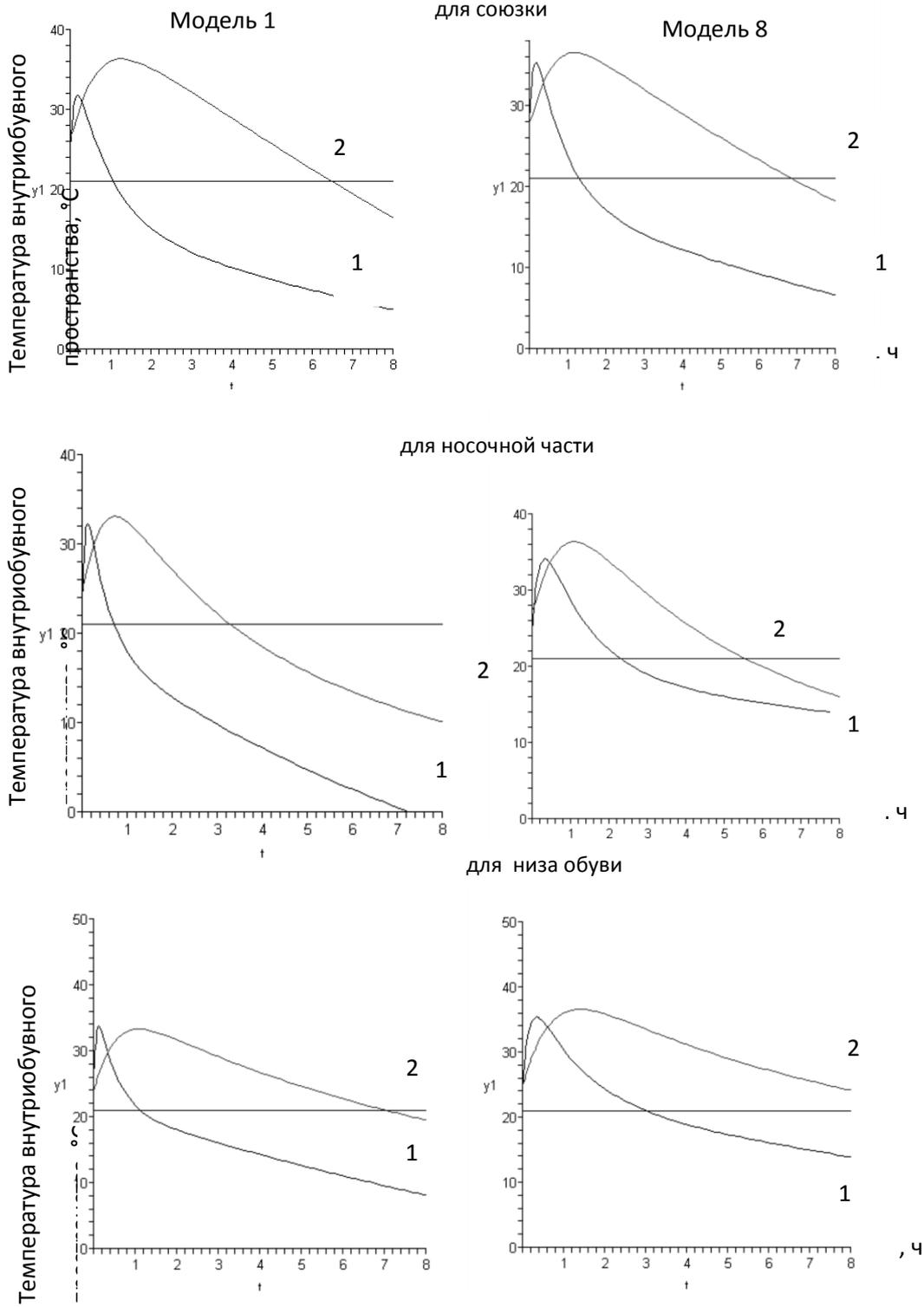


Рисунок 5. Изменение температуры внутриобувного пространства для первой и восьмой модели:  
1 – для пакета, приведённого в таблице 10, для соответствующих моделей;  
2 – для пакета с добавлением для верха утеплителя (тинсулейта или холлофайбера) и для низа обуви - корковую стельку

### Список литературы

1. Прохоров В.Т., Михайлова И.Д., Осина Т.М., Михайлов К.А., Афанасьева Р.Ф., Дуюн Л.В., Вареньева Ю.В. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 20146174689. Программное обеспечение для формирования комфортного состояния стопы носчика при его нахождении в зонах с повышенной температурой. Выдано Российским агентством по патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ) 17 апреля 2014 г.
2. Осина Т.М. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2008610087. Программное обеспечение для решения задачи нестационарных процессов теплообмена для системы «Стопа – обувь – окружающая среда» при условии зависимости коэффициентов теплопроводности от температуры. Выдано Российским агентством по патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ) 09.01.2008.
3. Особенности защиты человека от воздействия низких температур: Монография / В.Т. Прохоров и др.; под общей редакцией проф. В.Т. Прохорова. - Шахты: издательство ГОУ ВПО "ЮРГУЭС", 2007. - 499 с.
4. Ажаев А.И. Физиолого-гигиенические аспекты действия высоких и низких температур. - М.: Наука. 1979. - 262 с.
5. Ажевский П.Я. Особенности терморегуляции организма при охлаждении дисталь-ных отделов конечностей: Канд. диссер. - М., 1969. - АМН СССР. Институт нормальной патологии физиологии.
6. Афанасьева Р.Ф. Некоторые способы поддержания температурного гомеостаза в условиях воздействия на человека холодового фактора. РЗ кн. Теоретические и практические проблемы терморегуляции. Отв. ред. Султанов Ф.Ф.-Ашхабад. 1980. - С. 143 - 152.

*Решетняк С.П.<sup>1</sup>; Мелихов М. В.<sup>2</sup>*

### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОЧИСТКЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ БЕРМ УСТУПОВ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ОТКОСАМИ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БОРТОВ КАРЬЕРА

*<sup>1</sup>докт. т. наук, вед. науч. сотр. Горного института Кольского научного центра РАН, г. Апатиты Мурманской области; <sup>2</sup>инженер Горного института Кольского научного центра РАН, г. Апатиты Мурманской области*

TECHNICAL AND ECONOMICAL EVALUATION OF SAFETY BERM CLEANING ON THE BENCHES WITH VERTICAL SLOPES DURING THE OPEN PIT WALL DESIGN

*Reshetnyak Sergey, Doctor of Science, Leading Scientist of Mining Institute of Kola Science Centre RAS, Apatity city of Murmansk region, Russian Federation;*

*Melikhov Mikhail, Engineer of Mining Institute of Kola Science Centre RAS, Apatity city of Murmansk region, Russian Federation*

#### АННОТАЦИЯ

*Оценено влияние выколаживания в процессе выветривания откосов уступов карьера на технико-экономические показатели его работы. Определён комплекс технологических работ по текущему содержанию предохранительных берм. Для карьера с вертикальными откосами уступов предложена упрощённая методика расчёта потенциальных объёмов обрушившихся или осыпавшихся горных пород, подлежащих вывозу из карьера, а также затрат на их удаление.*

#### ABSTRACT

*The assessment of bench rock weathering influence on open pit mine economic is carried out. The safety berms maintenance is ascertained. The simplified procedure of potential caving rock volume and its remove cost assessments are suggested for the benches with the vertical slopes.*

*Ключевые слова: борта карьеров; выколаживание уступов; текущее содержание предохранительных берм; комплекс технологических работ по уборке осыпавшихся горных пород; технико-экономическая оценка мероприятий по очистке бермы.*

*Keywords: open-pit mine walls; bench flattening out; safety berm maintenance; caving rock remove; technical and economical evaluation of berm cleaning.*

С учётом разнообразия условий разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом, в процессе эксплуатации карьера имеют место случаи обрушений и/или осыпаний горных пород различного масштаба, в той или иной степени влияющие на технико-экономические показатели его работы.

При проектировании бортов карьера поперечный профиль предохранительных берм в соответствии с правилами безопасности должен быть горизонтальным или иметь уклон в сторону борта карьера. Как правило, ширину бермы стараются сделать минимального размера, но не менее величины, достаточной для размещения оборудования для уборки, погрузки и вывоза осыпавшихся горных пород [3].

Известно, что основными факторами, влияющими на интенсивность обрушений или осыпаний горных пород из откосов уступов карьера, служит сочетание геологических, геомеханических и технологических факторов [10]. В результате их действия породные обнажения в откосе уступа могут находиться как в устойчивом, так и в неустойчивом, потенциально опасном состоянии, которое со временем под влиянием внешних динамических факторов может реализовываться в отдельный вывал или масштабное обрушение [14].

Опыт показывает, что в относительно ненарушенных скальных массивах при использовании специальных технологий формирования уступов, даже при вертикальных откосах, интенсивность их обрушения или осыпания уменьшается с течением времени, и предохранительные бермы в течение 15-20 лет своего стояния засыпаются лишь примерно на половину своей ширины [6].

Однако в практике ведения открытых горных работ имеют место случаи самообрушений значительного объёма горных пород из откосов уступов карьеров от небольших (тыс. м<sup>3</sup>) до очень больших

(млн. м<sup>3</sup>), а в некоторых случаях чрезвычайно больших (десятки млн. м<sup>3</sup> и более) по масштабу проявлений [13], которые наносят заметный экономический ущерб горному предприятию за счёт прироста дополнительного объёма вскрышных работ, направленных на ликвидацию последствий обрушений или осыпаний горных пород. Например, на Агарском карьере деформирование откосов общей высотой 110 м (7 уступов) при угле наклона борта 37° потребовало проведения дополнительных вскрышных работ по выполаживанию борта в объёме 3 млн. м<sup>3</sup>; на Златоуст-Беловском карьере в результате обрушений и просадок уступов дополнительный объём вскрышных работ составил около 23 млн. м<sup>3</sup>; на Зыряновском карьере выполаживание юго-западного борта составило с 41 до 29° с приростом около 1 млн. м<sup>3</sup> вскрышных пород; на Сибайском карьере объём работ на ликвидацию последствий обрушений также превысил 1 млн. м<sup>3</sup> вскрышных пород и т. д. (табл. 1) [8].

В то же время процесс естественного выполаживания одного уступа или группы уступов приводит к накоплению осыпей на предохранительной берме между нижней бровкой уступа и предохранительно-отражающим валом или защитным сооружением, а берма в заполненном состоянии утрачивает свою улавливающую способность, тем самым снижая уровень безопасности ведения горных работ на нижележащих горизонтах [7].

В этом случае в соответствии с действующими нормативными документами [11] на открытых горных работах предусматривается проведение механизированных мероприятий по текущему содержанию предохранительных берм, заключающихся в систематической уборке обрушившихся или осыпавшихся горных пород и включающих в себя в общем случае следующий комплекс технологических работ (рис. 1): сгребание в кучи или штабелирование, погрузка и вывоз пород.

Таблица 1

## Горно-технологические показатели по деформациям на некоторых карьерах цветной металлургии [8]

Наименование карьера	Общее количество деформаций, ед.	Объём деформируемых горных масс, тыс. м <sup>3</sup>	Дополнительный объём вскрыши, тыс. м <sup>3</sup>
Агарский	Н. д.	Н. д.	3 000
Блявинский	15	150	1 300
Гайский №1	21	330	1 480
Златоуст-Беловский	23	90	23 300
Зыряновский	4	1 800	1 178
Кургашинканский	32	Н. д.	Н. д.
Сибайский	30	500	1 460
Учалинский	39	600	1 300

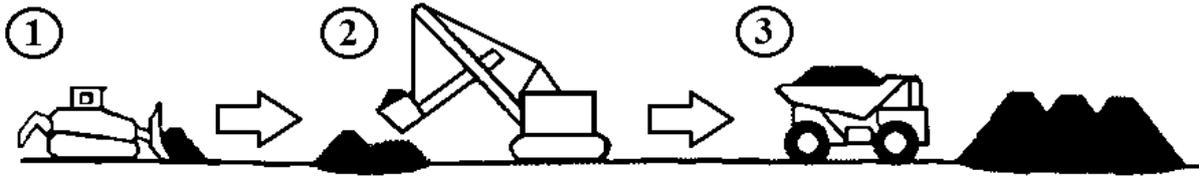


Рисунок 1. Схема комплекса технологических работ по очистке бермы от обрушившихся или осыпавшихся горных пород:  
1 – штабелирование; 2 – погрузка; 3 – транспортировка в отвал

В настоящее время на открытых разработках для механизации вышеперечисленных технологических процессов используется как карьерное, так и универсальное строительное оборудование, обладающее различными техническими и эксплуатационными качествами, выбор которых определяется конкретными горно-техническими и горно-геологическими условиями.

При штабелировании обрушившихся и осыпавшихся горных пород в основном используются скреперы или бульдозеры [4]. Скреперы обычно работают по эллипсоидной схеме, бульдозеры – по схеме тупиковых ходов. Скреперы удобнее бульдозеров при вывозе и укладке горных пород в отвалы, и эффективная дальность их использования составляет 100-500 м, однако, при отвалообразовании крупных кусков скальных пород требуют предварительного их разрыхления [9]. Как правило, на карьерах используют колёсные бульдозеры, поскольку они обладают той же скоростью перемещения по автодорогам, какую имеет технологический транспорт, чтобы не снижать его производительность на пути следования к месту проведения работ. При этом эффективная дальность перемещения горной массы вышеуказанным оборудованием составляет до 100 м, а допустимая величина угла уклона пути – 6° [1]. При необходимости дробления негабаритных кусков породы совместно с бульдозерами могут использоваться рыхлители, или сами бульдозеры оборудуются несколькими дополнительными зубьями, а также используются специальные мобильные дробильные установки или применяется буровзрывной способ дробления.

Погрузка обрушившихся или осыпавшихся горных пород в транспортные средства может осуществляться гидравлическими экскаваторами с дизельным приводом, что обусловлено независимостью работы данного вида оборудования от наличия источников электроснабжения, компактностью за счёт меньших радиусов черпания и разгрузки (в 1,4-1,5 раза) и более высокой скоростью передвижения при относительно небольшой массе (меньше в 1,8-2 раза) по сравнению с тросовыми экскаваторами с той же вместимостью ковша [12].

Транспортировка обрушившихся или осыпавшихся горных пород заключается в её перемещении до перегрузочных пунктов карьера и осуществляется различными типами автосамосвалов. Как показывает опыт эксплуатации карьеров, экономически целесообразное расстояние автоперевозок не должно превышать 1,5-2,5 км [5].

С течением времени в результате естественного выполаживания откоса уступа происходит сокращение ширины бермы, следовательно, данный фактор необходимо учитывать, чтобы избежать затрат на приобретение нового технологического оборудования, выбор которого будет обусловлен его меньшими габаритами.

Периодичность проведения мероприятий по очистке предохранительных берм от обрушившихся или осыпавшихся горных пород обычно составляет 2-3 раза в год. Как правило, данные мероприятия проводятся в весенний и осенний периоды года, когда интенсивность проявления обрушений или осыпаний горных пород максимальна в результате процессов оттаивания-замерзания содержащейся в трещинах воды.

На стадии проектирования бортов карьера для определения потенциальных объёмов осыпавшихся горных пород, подлежащих уборке, в общем случае можно применить графоаналитический метод, учитывающий различный характер развития трещиноватости во вмещающем массиве пород [8].

Для карьера, сформированного на проектном контуре уступами с вертикальными откосами, площадь потенциально неустойчивого участка уступа  $S_1$  без применения (см. рис. 2 а) и с применением способов заоткоски (см. рис. 2 б) верхней бровки, соответственно, в зависимости от проектной ширины сработки бермы  $B_c$ , высоты уступа  $h$ , а также угла заоткоски уступа  $\beta$  (во втором случае) определяется по следующим формулам [2]:

а) без заоткоски

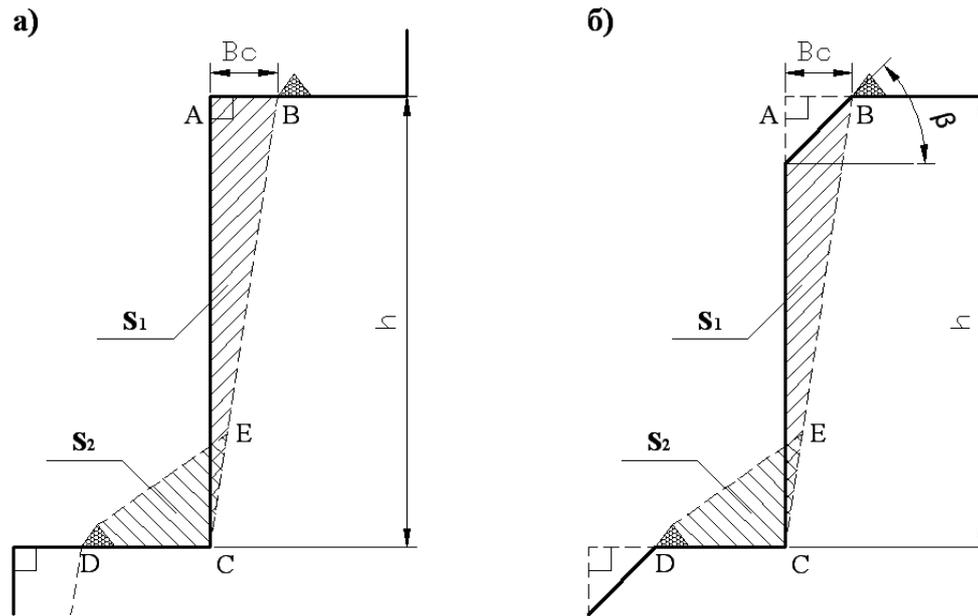
$$S_1 = \frac{1}{2} \times h \times B_c,$$

где  $h$  – высота уступа, м;  $B_c$  – ширина сработки бермы, м;  $\alpha$  – угол откоса уступа карьера, град.;

б) с заоткоской

$$S_1 = \frac{1}{2} \times B_c \times (h - B_c \times \text{tg}\beta),$$

где  $\beta$  – угол заоткоски уступа, град.



**Рисунок 2. Общая схема определения потенциальных объёмов обрушившихся или осыпавшихся горных пород из уступа с вертикальным откосом, подлежащих уборке: а – без применения и б – с применением способов заоткоски верхней бровки**

Ширина сработки бермы  $B_c$  определяется по результатам опытно-исследовательских работ для конкретных условий разрабатываемого месторождения.

Площади обрушившихся или осыпавшихся пород  $S_2$  в обоих случаях связаны с площадями потенциально неустойчивого участка уступа  $S_1$  следующей зависимостью:

$$S_2 = \eta S_1,$$

где  $\eta$  – коэффициент разрыхления горных пород.

Объём потенциально неустойчивого участка уступа  $V_1$  и объём обрушившихся или осыпавшихся горных пород  $V_2$ , соответственно, определяются по следующим формулам:

$$V_1 = S_1 \times L,$$

$$V_2 = S_2 \times L,$$

где  $L$  – протяжённость участка, на котором может произойти обрушение или осыпание горных пород, м.

Затраты на уборку обрушившихся или осыпавшихся горных пород в пределах одного уступа определяются по следующей упрощённой формуле:

$$Ц_y = \sum_{i=1}^k \frac{C_i \times V_{гн i}}{\mathcal{E}_{об i}} = \frac{C_1 \times V_{гн 1}}{\mathcal{E}_{об 1}} + \frac{C_2 \times V_{гн 2}}{\mathcal{E}_{об 2}} + \dots + \frac{C_k \times V_{гн k}}{\mathcal{E}_{об k}},$$

где  $C$  – затраты на уборку горной породы, руб./час;  $V_{гн} = V_2$  – объём обрушившихся или осыпавшихся горных пород, м<sup>3</sup>;  $\mathcal{E}_{об}$  – эксплуатационная производительность оборудования, м<sup>3</sup>/час;  $i$  – единица оборудования, ед.;  $k$  – количество единиц оборудования, ед.

Следовательно, на стадии проектирования бортов карьера технико-экономическая оценка мероприятий по уборке бермы в зависимости от потенциальных объёмов обрушившихся или осыпавшихся

горных пород в общем случае может производиться по следующей формуле:

$$Ц_б = N \times \sum_{i=1}^k \frac{C_i \times V_{гн i}}{\mathcal{E}_{об i}} = N \times \left( \frac{C_1 \times V_{гн 1}}{\mathcal{E}_{об 1}} + \frac{C_2 \times V_{гн 2}}{\mathcal{E}_{об 2}} + \dots + \frac{C_k \times V_{гн k}}{\mathcal{E}_{об k}} \right),$$

где  $N$  – количество уступов, ед.

Таким образом, предложенная упрощённая методика расчёта потенциальных объёмов обрушившихся или осыпавшихся горных пород, подлежащих уборке, для уступов с вертикальными откосами позволяет на стадии проектирования бортов карьера оценить затраты, связанные с текущим содержанием предохранительных берм.

### Список литературы

1. Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю. Технологические процессы открытых горных работ. – М.: ООО НТЦ «Горное дело». – 2008. – 448 с.
2. Выгодский М.Я. Справочник по элементарной математике. – М. – 1964. – 420 с.
3. Горная энциклопедия. – <http://www.mining-enc.ru/b/berma>.
4. Городецкий П.И. Справочник по горнорудному делу (том 1: Открытые горные работы). – М. – 1960. – 928 с.
5. Ермолаев А.И., Бахин В.В. Оптимизация параметров циклично-поточной технологии горных работ с учётом обеспеченности вскрытыми запасами и шага переноса перегрузочного пункта. – Международный научно-промышленный симпозиум «Уральская горная школа – регионам». – 2010. – С. 232-234.

6. Козырев А.А., Решетняк С.П. и др. Геомеханическое и техническое обоснование оптимальных конструкций уступов и бортов основного карьера. – Горный журнал, Спецвыпуск. – 2002. – С. 13-17.
7. Мелихов М.В. Защита технологических участков карьера от негативных последствий процесса деформации породного массива. – Сб. трудов VI научно-практической конференции молодых учёных «Информационные технологии поддержки сбалансированного природопользования». – Апатиты: изд. КНЦ РАН. – 2011. – С. 67-71.
8. Попов В. Н., Байков Б. Н. Технология отстройки бортов карьеров. – М.: Недра, 1991. – 252 с.
9. Расположение карьеров на косогоре. – <http://www.Build-road.ru/83-raspolozhenie-karera-na-kosogore.html>.
10. Решетняк С.П., Мелихов М.В. Технология обеспечения устойчивости уступов на конечном контуре карьера. – Открытые горные работы в XXI веке: сб. материалов Международной научно-практической конференции. – МВДЦ «Сибирь», Красноярск, изд. ООО НТЦ «Горное дело». – 2011. – С. 349-356.
11. Российская Федерация. Приказ Ростехнадзора. Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. – ПБ 03-498-02 №667. – 2009.
12. Сандригайло И.Н., Каримов Ф.Р. Основные направления использования на карьерах гидравлических и канатных экскаваторов. – Международный научно-промышленный симпозиум «Уральская горная школа – регионам». – 2010. – С. 183-185.
13. Свод правил по инженерно-геологическим изысканиям для строительства (Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов). – СП 11-105-97. – Внесён ПНИИСом Госстроя России. – 2001.
14. Фокин В.А. Проектирование и производство буровзрывных работ при постановке уступов в конечном положении на предельном контуре глубоких карьеров. – Апатиты: изд. КНЦ РАН. – 2004 – 231 с.

*Шакурский М.В.<sup>1</sup>; Шакурский В.К.<sup>2</sup>*

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, ОСНОВАННОЙ НА СЖИМАЮЩИХ ОТОБРАЖЕНИЯХ

<sup>1</sup>канд. техн. наук, старший преподаватель Поволжского государственного университета сервиса, г. Тольятти;

<sup>2</sup>докт. техн. наук, профессор Тольяттинского государственного университета, г. Тольятти

COMPUTER MODELLING OF STEGANOGRAPHIC SYSTEM BASED ON CONTRACTION MAPPING

*Shakurskiy Maxim, Candidate of Science, lecturer of Volga Region State University of Service, Togliatti, Russian Federation*

*Shakurskiy Victor, Doctor of science, professor of State University of Togliatti Togliatti, Russian Federation*

### АННОТАЦИЯ

*Рассматривается компьютерное моделирование двухканальной стеганографической системы, построенной на основе сжимающих отображений. Моделирование выполнено в среде Matlab Simulink. В результате моделирования получены результаты и произведён анализ погрешности системы при различных соотношения амплитуд полезного и маскирующего сигналов.*

### ABSTRACT

*In article the computer modeling of two-channel steganographic system based on contraction mapping is considered. Modelling realised in Matlab Simulink system. Analysis of modelling result shows the mistake of system when different proportions of amplitudes of informational signal and container signal was applied.*

*Ключевые слова: стеганографическая система, сжимающие отображения, стегоконтейнер, компьютерная модель.*

*Keywords: steganographic system, contraction mapping, stego, computer model.*

Одним из способов защиты информации является использование стеганографических систем. Синтез стеганографических систем требует согласования алгоритмов формирования контейнеров и алгоритмов их вскрытия с использованием набора

ключей. Решение данной задачи возможно несколькими известными методами [1, 2].

В представленной работе приводятся результаты исследования стеганографических систем, в ко-

торых используются сжимающие отображения. С помощью сжимающих отображений [2] синтезируются двухканальные стеганографические системы, в которых алгоритмы вскрытия двух контейнеров являются инвариантными преобразованиями.

Формирование сжимающих отображений осуществляется методом контрольной суммы (контрольного значения) [2, 3]. В этом случае расширяется круг используемых стеганографических преобразований, что позволяет синтезировать устойчивую стegosистему [1].

В качестве примера рассмотрим двухканальную стegosистему, в которой реализуется условие контрольной суммы. В основе стеганографического преобразования лежат уравнения в функции текущего номера отсчёта значений встраиваемых данных и маскирующего сигнала:

$$\begin{cases} u_1(n) = y_1(n) + \varphi_1 [y_1(n), z(n)]; \\ u_2(n) = y_2(n) + \varphi_2 [y_2(n), z(n)], \end{cases} \quad (1)$$

где  $z$  - значения отсчётов маскирующего сигнала контейнера;  $y$  - значения отсчётов встраиваемых данных;  $\varphi$  - функция стеганографического преобразования.

В выражении (1) приведены два массива  $y$  полезного сигнала. Данные сигналы формируются передающей стороной в соответствии с методом контрольного значения:

$$y_2(n) = U - y_1(n), \quad (2)$$

где  $U$  - значение контрольной суммы, являющееся ключом для корректного выделения встраиваемой информации.

Исследуем линейные стеганографические преобразования в следующем виде:

$$\begin{cases} u_1(n) = y_1(n) + [k_1 + y_1(n)]z(n) \\ u_2(n) = y_2(n) + [k_2 + y_2(n)]z(n) \end{cases} \quad (3)$$

Коэффициенты  $k$  выбираются произвольно. Значения коэффициентов  $k$  также являются ключами. Отношение средних значений встраиваемых данных к средним значениям сигнала контейнера может быть много меньше единицы.

Вскрытие контейнеров (3) выполняется с помощью сжимающих преобразований, которые имеют вид:

$$\begin{aligned} y_{1C}(n) &= \frac{u_1(n)(k_2 + U) + k_1(U - u_2(n))}{k_1 + k_2 + u_1(n) + u_2(n)}; \\ y_{2C}(n) &= \frac{u_2(n)(k_1 + U) + k_2(U - u_1(n))}{k_1 + k_2 + u_1(n) + u_2(n)}. \end{aligned} \quad (4)$$

Затем восстанавливаются исходные данные:

$$y_C(n) = y_{1C}(n) - y_{2C}(n) + U. \quad (5)$$

Таким образом, для вскрытия контейнеров необходимо знать три константы, которые являются ключами [1, 2].

Выполним компьютерное моделирование стеганографической системы, описанной выражениями (2 - 5). Общая модель в среде Matlab Simulink имеет вид (рис. 1).

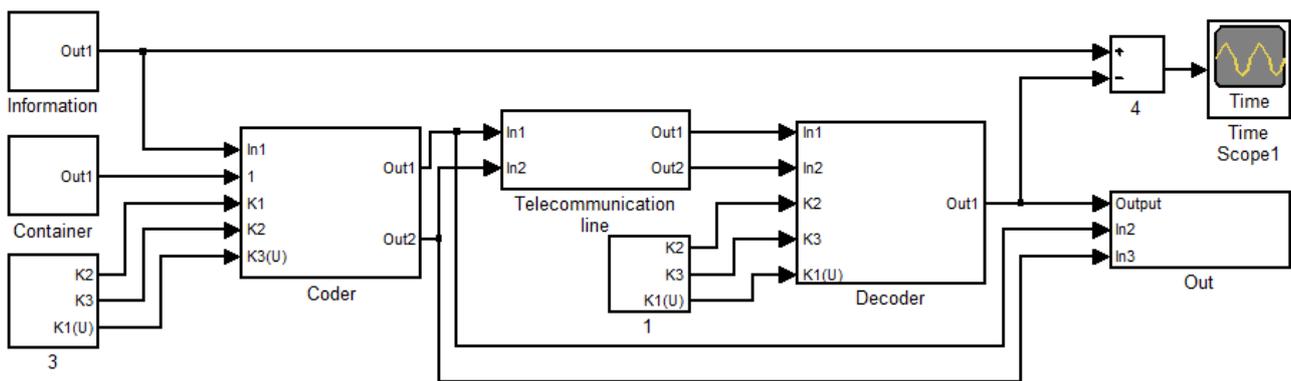


Рисунок 1. Модель стеганографической системы

Блок «Information» формирует полезный сигнал. Блок «Container» формирует маскирующий сигнал. Блоки «3» и «1» представляют собой блоки памяти коэффициентов, соответственно для кодера и декодера стegosистемы. Блок «Out» представляет собой блок вывода информации. Блок

«Telecommunication line» представляет собой блок линии передачи информации. Блок «Coder» содержит в себе структурную схему стегакодера, построенную в соответствии с выражением (3), и приведённую на рис. 2.

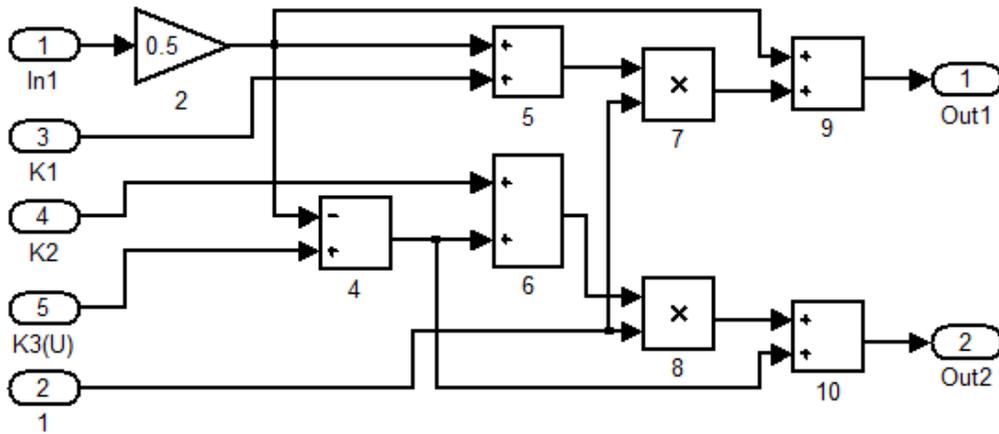


Рисунок 2. Модель стегокодера

Блок «Decoder» содержит в себе структурную схему стегодекодера, построенную в соответствии с выражениями (4) и (5), и приведённую на рис. 3

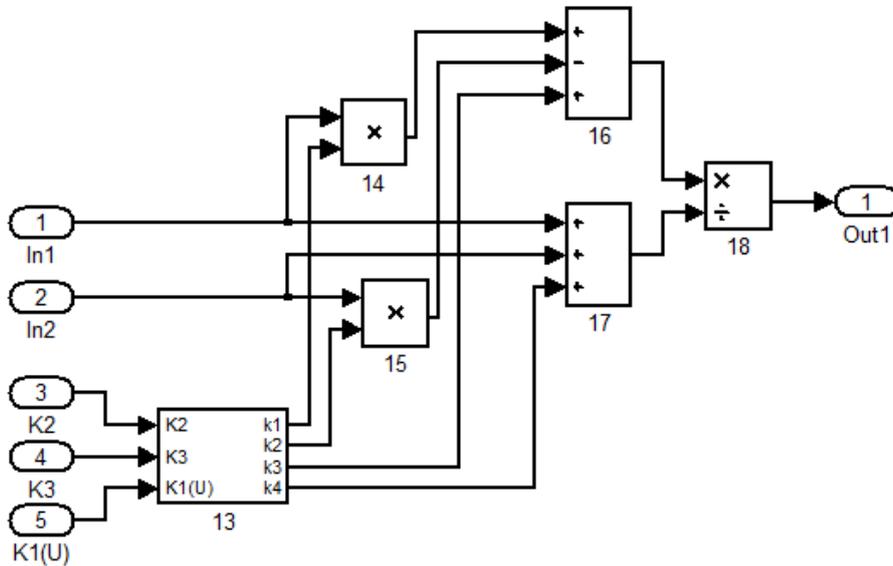


Рисунок 3. Модель стегодекодера

Рассмотрим работу модели. На осциллограф подаётся разность сигналов входа и выхода. На рис.

4 показан пример показаний осциллографа при равенстве амплитуд информационного и маскирующего сигналов.

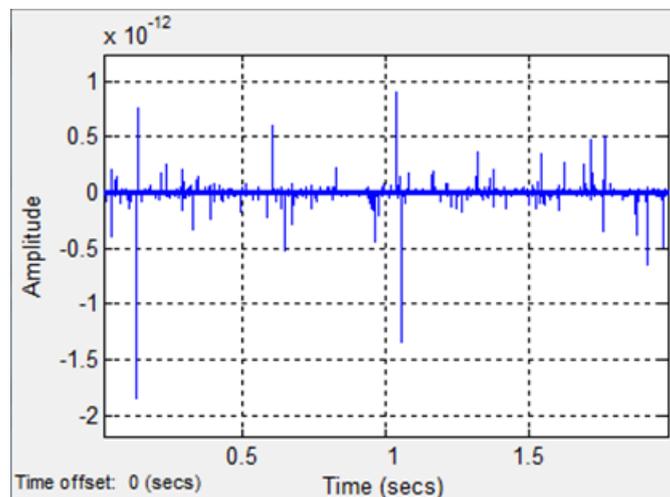


Рисунок 4. Показания осциллографа

Из рисунка видно, что ошибка декодирования находится в пределах  $10^{-12}$ , что соответствует ограничению разрядности. Отдельные всплески вызваны близостью нуля маскирующего сигнала. Дальней-

шие эксперименты показали, что увеличение амплитуды маскирующего сигнала не сказывается на ошибке. На рис. 5 показан пример осциллограммы при шестикратном превышении амплитуды маскирующего сигнала амплитуды полезного сигнала.

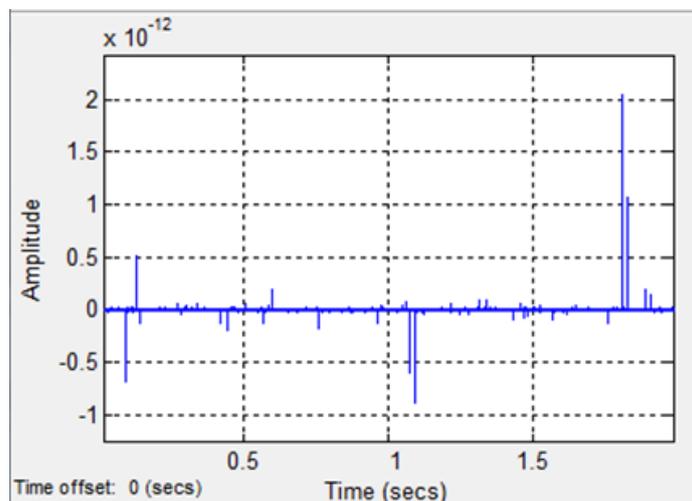


Рисунок 5. Показания осциллографа

Из рисунка видно, что значение ошибки не зависит от соотношения амплитуд полезного и маскирующего сигналов.

Выводы. В результате компьютерного моделирования показано, что разработанная стеганографическая система инвариантна от маскирующего сигнала, причём значение ошибки восстановления сигнала не зависит от соотношения амплитуд полезного и маскирующего сигналов, что говорит о высокой устойчивости системы к стегоанализу.

#### Список литературы:

1. Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В. Цифровая стеганография /.-М.: Солон-Пресс. 2002. 272 с.
2. Шакурский В.К., Шакурский М.В. Сжимающие отображения в инвариантных преобразователях и системах стеганографии. Монография. Издательство СНЦ РАН, Самара 2014, 159 с.
3. Shakurskiy V.K., Shakurskiy M.V., Volovach V.I. // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2014), KNURE, Kharkov, p.p. 309-311., Oct. 2014.

Сидоров А.А.

### МОДУЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБУЧЕНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ

канд. пед. наук, доцент кафедры конструирования и графики Ивановского государственного энергетического университета г. Иваново

MODULE TECHNOLOGY OF STUDY IN FORMING PROFESSIONAL COMPETENCES OF STUDENTS

Andrey Sidorov PhD, assistant professor of Ivanovo state power university

#### АННОТАЦИЯ

Статья посвящена анализу роли инновационных технологий в обучении, в частности модульному обучению, способствующему формированию у студентов профессиональных компетенций, ориентированных на создание новых продуктов дизайна, форм и правил, отвечающих требованиям времени.

#### ABSTRACT

The paper deals with the analysis of innovative educational technologies, module education specifically, in forming professional competences of students aimed at creation of up-to-date design products, forms and instructions.

Ключевые слова: инновации в образовании, модульное обучение, профессиональная подготовка дизайнеров.

Key words: innovation in education, module education, high school design training.

Современный этап модернизации высшего образования характеризуется как сложный процесс становления новых государственных стандартов и структуры всей образовательной системы. Очевидно, что на рынке образовательных услуг создавалась обстановка острой конкуренции между учебными заведениями. Это диктует необходимость совершенствования методик ведения учебного процесса и повышение качества обучения. В связи с этим возрастает роль инновационных технологий в образовании, обеспечивающих гибкий подход к формированию профессиональных компетенций студентов.

Общеизвестно, что инновационные технологии – это целенаправленная деятельность по созданию, освоению и использованию современных идей, адаптированных для определенных требований и соответствующих условий. Отметим, что в отличие от традиционного обучения, которое занимается трансляцией принятых норм мышления и поведения, использование инновационных технологий в учебном процессе направлено на формирование у студента таких качеств и умений, которые позволят ему создавать новые продукты, нормы, правила.

Определение инновации как педагогической категории встречается в работах ряда авторов и сводится к понятию обновления, изменения, новшества, введения нового в образовательную работу. В разное время в нашей стране и за рубежом инновации в образовании рассматривали следующие исследователи: Х. Барнетт, В. Ж. Келле, И.М. Ильинский, С.Е. Крючкова, В.И. Слободчиков, М. М. Поташник, А. В. Хуторский, Н. Б. Пугачёва, В. С. Лазарев, В.И. Загвязинский и другие.

По мнению большинства исследователей, среди многочисленных инновационных технологий выделяется модульное обучение.

Отметим тот факт, что в основу модульного обучения положена такая дефиниция как «модуль». Основу модульного обучения составляет учебный модуль, включающий: законченный блок информации; целевую программу действий ученика; рекомендации преподавателя по ее успешной реализации. Модульная технология обеспечивает индивидуализацию обучения по содержанию, самостоятельности, по темпу усвоения, уровню, методам и способам учения, способам контроля и самоконтроля.

С учётом всех выявленных возможностей и особенностей применения технологии модульного

обучения нами был разработан модульный курс «Эргономика».

Данная дисциплина для студентов, обучающихся по специальности «Дизайн», направлена на формирование: умения решать профессиональные проектные задачи, максимально приближенные к реальным задачам на производстве; проектного типа мышления, направленного на создание комфортной среды жизнедеятельности человека. Исходя из этого, и определялись интегрированные и частные дидактические цели. Весь учебный курс был поделён на 10 модулей.

Названия модулей в предлагаемой структуре дисциплины и их краткое содержание:

Модуль 1. Эргономика как наука.

История возникновения и развития эргономики как научной дисциплины в нашей стране и за рубежом. Определение основных понятий эргономики: предмет, цель, задачи эргономики, эргономические требования, человек-оператор, эргономические свойства, основные структурные элементы эргономики, результаты эргономического исследования. Связь эргономики с дизайном.

Модуль 2. Антропометрические требования в эргономике.

Определение понятия антропометрия. Статические и динамические эргономические антропометрические признаки. Понятие соматографии. Методы эргономических исследований: метод плоских манекенов, экспериментальные (макетные) методы, электромиография, инструментальное профилирование.

Модуль 3. Рабочее место. Рабочая поверхность. Рабочее сидение.

Эргономический расчет параметров рабочего места (РМ). Рабочее место как целостная единица. Пространственные и размерные характеристики РМ, рекомендации по расчету параметров (габаритных, компоновочных, свободных). Средства оснащения РМ. Понятия рабочей поверхности и рабочего сиденья. Соблюдение ряда условий конструкции рабочего сиденья. Процесс сидения.

Модуль 4. Рабочий инструмент. Проектирование интерфейса.

Конструкция, форма захватной части, управляющая часть рабочего инструмента. Основные рекомендации по конструированию и использованию рабочего инструмента. Средства отображения информации (приборы, экраны, схемы, табло и т.д.).

Органы управления. Информационная модель. Понятие кодирования информации. Кодирование информации цветом и формой.

Модуль 5. Освещение как объект эргономического анализа.

«Двойная» природа света. Фотометрические понятия: световой поток, освещенность, яркость. Основные цели организации освещения в помещениях. Источники искусственного света. Цвет и жизнедеятельность человека.

Модуль 6. Основные элементы оборудования и наполнения среды.

Эргодизайн в средовом проектировании. Понятие средовых объектов и их основные компоненты. Группы элементов оборудования. Оборудование жилой среды. Основные функции современного жилища. Эргономические требования к мебели. Классификация мебели по ряду признаков. Эргономическая оценка кухонного оборудования. Три основных элемента кухни (т.н. «рабочий треугольник»). Основные эргономические и эстетические требования к оборудованию кухни. Кухонное освещение.

Модуль 7. Эргономика среды обитания престарелых и инвалидов.

Коррективная эргономика. Проектирование среды для лиц пожилого возраста и инвалидов.

Модуль 8. Оборудование интерьеров общественных зданий.

Проектирование среды для детей. Детская мебель. Особенности использования цвета при проектировании детской мебели. Оборудование интерьеров общественных зданий. Две группы оборудования общественных зданий. Рабочее место в офисе. Виды офисов. Эргономические требования к рабочему офисному креслу. Ряд требований к планировке и проектированию рабочего места в офисе.

Модуль 9. Эргономика технически-сложных потребительских изделий

Задачи эргономических исследований и разработки технически сложных потребительских изделий. Эргономические исследования и разработка средств ввода информации. Приспособление геометрии клавиатуры к естественным особенностям

кисти человека. Рекомендации при выборе сенсорного экрана дисплея и формы мыши.

Модуль 10. Видеоэкология.

Определение понятия. Два типа дискомфортных визуальных сред. Условные слои рукотворной среды обитания.

При изучении содержания учебного материала, автор статьи представлял систему заданий, направленных на формирование научных знаний и специальных умений, относящихся к профессиональным компетенциям студентов-дизайнеров.

Реализация модульного курса обеспечила: усвоение фундаментальных профессиональных дизайнерских знаний, которое характеризуется формированием основных понятий эргономики; созданием условий применения полученных эргономических знаний в творческой работе; практическую направленность применения специальных компетенций в решении реальных профессиональных задач в области дизайна, которые характеризуются максимальным учетом требований современного дизайна, всесторонним изучением проблемных ситуаций, творческим характером применения полученных знаний и умений, которые проявляются увеличением количества и вариативности предлагаемых оригинальных решений проектных задач.

#### Список литературы:

1. Волкова Ю. Традиционные и новые технологии обучения: «принцип дополнительности» // Высшее образование в России. – 2003. – № 6. – С. 35–34
2. Манусевич, Ю.П. Эргономика в дизайне среды: Учеб. Пособие / Ю.П. Манусевич, В.Ф. Рунге. - М.: «Архитектура-С», 2007. - 328 с.: ил. - ISBN 5-9647-0026-8.
3. Модульно-компетентностный подход и его реализация в среднем профессиональном образовании. / Под общ. ред. докт. педагогич. наук, профессора А.А. Скамницкого. – М., 2006. – 247 с. – С. 42–43.

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Бахарев Б.В.

### ИЗМЕРЕНИЕ ДЕКРЕМЕНТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭНЦЕФАЛОГРАММЫ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ РИТМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА

канд. ф-м. наук, ст.н.с. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биофизики клетки РАН, г. Пущино Московской области

#### DECREMENT MEASUREMENT ELECTROENCEPHALOGRAM BY MODEL OF RHYTHMIC PROCESSES OF BIOELECTRICAL ACTIVITY OF THE CEREBRAL CORTEX

Bakharev Boris Candidate of Science, senior staff scientist of Institute of Cell Biophysics, Russian Academy of Science, Pushchino, Moscow region, Russian Federation

#### АННОТАЦИЯ

Ранее полученные нами результаты показали, что электроэнцефалограмма (ЭЭГ) хорошо представляется в виде свертки дискретного (равномерно разрывного) белого гауссов шума с гармоническими функциями, имеющими отрицательные декременты. Предложен метод вычисления декремента ЭЭГ, апробированный как на моделируемых сигналах с заданными параметрами, так и на реальных энцефалограммах мышей. Изучение декрементных параметров наряду с амплитудно - частотными параметрами энцефалограмм в различных функциональных состояниях животных расширяют возможности математической обработки сигналов мозга.

#### ABSTRACT

Early received results showed, that the electroencephalogram has represented as convolution of discrete evenly discontinuous white Gaussian noise with harmonic functions having negative decrements. The method of EEG decrements calculation has proposed and has tested on model signals with set-up parameters and on real mouse encephalograms. Studies of decrement characteristics along with amplitude-frequency characteristic of encephalograms at different functional states in animals will extend facilities of the mathematical processing of brain signals.

Ключевые слова: моделирование, кора головного мозга, электроэнцефалограмма.

Key words: computer simulation, cerebral cortex, electroencephalogram

В предыдущих работах [2-5] изучалась модель формирования ритмических процессов в коре головного мозга. Исследовались интегральные уравнения

средних по ансамблю мембранных потенциалов возбуждательных - аналога электроэнцефалограммы (ЭЭГ) и тормозных нейронов неокортекса:

$$u_E(t) - \bar{u} = \int_{t-T_E}^t K_E(u_E(t')) P_E(t-t') [A_E F_E(t' - \tau_E) + W(t')] dt' - B_E \int_{t-T_I}^t K_I(u_E(t')) P_I(t-t') F_I(t' - \tau_I) dt'$$

$$u_I(t) - \bar{u} = \int_{t-T_E}^t K_E(u_I(t')) P_E(t-t') [A_I F_E(t' - \tau_I) + W(t')] dt' - B_I \int_{t-T_I}^t (K_I(u_I(t')) P_I(t-t') F_I(t' - \tau_I) dt'$$

Здесь  $K(u)$  - зависимость амплитуды ПСП от мембранного потенциала,  $P_E(t)$  и  $P_I(t)$  усредненные формы ВПСП и ТПСП конечной длительностью  $T_E$  и  $T_I$  соответственно,  $\tau$  задержки проведения импульсов,  $\bar{u}$  - средний потенциал покоя. Функция  $W(t)$  описывает усредненный афферентный приток импульсов (в основном возбуждающего типа [1,

с. 15]) от подкорковых структур. Коэффициенты равны:

$$A_E = p_{EE} N_{EEe} \kappa_E / (r \sigma_{vh}), \quad A_I = p_{IE} N_{IEe} \kappa_E / (r \sigma_{vh}),$$

$$B_E = p_{EI} N_{Eie} \kappa_I / (r \sigma_{vh}), \quad B_I = p_{II} N_{Iie} \kappa_I / (r \sigma_{vh}),$$

где  $p$  - эффективность связи пре- и постсинаптических клеток внутри макроколонки,  $N_e$  - эффективное число клеток, связанных между собой достаточно сильными связями,  $\kappa_E$  и  $\kappa_I$  - площади под

кривыми соответственно ВПСП и ТПСП,  $r$  - абсолютный рефрактерный период. Доля клеток  $F(t)$ , разряжающихся в единицу времени удовлетворяет уравнению:

$$\left[ 1 - \frac{1}{r} \int_{-\infty}^t \gamma(t - \tau) F(\tau) d\tau \right] \Phi(u(t)) = F(t)$$

с некоторая весовая функция -  $\gamma(t)$ , спадающей до нуля с ростом аргумента,  $\Phi(h)$  - функция распределения клеток по величине их порогов генерации потенциала действия.

Качественный нелинейный анализ этих уравнений показал, что для небольших отклонений от стационарных значений решение представляет собой сумму сверток внешних сигналов с оригиналами соответствующих функций. Если в качестве афферентного притока взять дискретный белый гауссов шум с постоянной составляющей  $\bar{W}$ , то ЭЭГ в линейном приближении в области устойчивых решений моделируется действительной частью свертки центрированного дискретного белого шума с гармоническими функциями, имеющими отрицательные декременты. В работе [6] рассмотрено такое представление электроэнцефалограммы  $\xi(t)$  в виде свертки гармонической функции, имеющей отрицательный декремент, с дискретным (равномерно разрывным) белым гауссов шумом:  $\xi(t) = Re x(t)$ , где

$$x(t) = \int_0^t q(t') exp(z \times (t - t')) dt', \quad z = \alpha + j\omega, \quad a$$

$q(t)$  - дискретный (равномерно разрывный) белый гауссов шум с шагом дискретизации  $\Delta t$  и дисперсией  $\sigma_q^2$  Оценка автокорреляционной функции:

$$R_\xi(\tau) = \frac{\Delta t^2}{2} \left[ \frac{exp(\alpha\tau) \cos(\omega\tau)}{1 - exp(2\alpha\Delta t)} + Re \frac{exp(z\tau)}{1 - exp(2z\Delta t)} \right] \sigma_q^2$$

Таким образом, происходит уширение пиков спектральной плотности и уменьшение их амплитуды в зависимости от декремента затухания, что и наблюдается в реальных спектрах мощности электроэнцефалограмм.

Задача изучения не только частотных, но и декрементных параметров энцефалограмм при различных электроэнцефалографических реакциях головного мозга позволит увеличить информативность параметров ЭЭГ. Измерению декрементных параметров ЭЭГ посвящена настоящая работа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

ЭЭГ представляет собой электрические волны, характеризующиеся определенной ритмичностью. При усреднении спектров мощностей ЭЭГ, взятых по нескольким эпохам анализа получим один - три широких пика, как правило, в разных диапазонах дельта (0,5-4 Гц), тета (4-8 Гц), альфа (8-13 Гц) у животных и альфа, бета (13-30 Гц) у человека в норме. ЭЭГ моделировалась как реальная часть суммы сверток затухающих гармонических функций с дискретным белым гауссов шумом с шагом дискретизации

$$\Delta t: \quad \xi(t) = Re \int_0^t \left[ \sum_{i=1}^n k_i q_i(t') exp(z_i \times (t - t')) \right] dt'$$

Оценка нормированной автокорреляционной функции такого сигнала, являющегося суммой независи-

мых процессов, будет:  $R_\xi(\tau) = \frac{\sum k_i^2 r_i(\tau)}{\sum k_i^2 r_i(0)}$ , где

$$r_i(\tau) = Re \left[ exp(z_i \tau) \left( \frac{1}{1 - exp(2\alpha_i \Delta t)} + \frac{1}{1 - exp(2z_i \Delta t)} \right) \right]$$

В качестве проверки предлагаемого метода бралась полуторачасовая запись ЭЭГ мышцы. Вычислялись и усреднялись нормированные автокорреляционные функции длительностью 1 сек (эпоха анализа 5 сек). Определялся средний спектр мощности в диапазоне 0-15 Гц, с использованием сглаживающей функции Парзена. В зависимости от числа экстремумов методом наименьших квадратов подбирались частоты и декременты модельной ЭЭГ. Частные производные по параметрам суммы квадратов разностей моделируемой автокорреляционной функции и реальной приравнявались нулю. Решалась система нелинейных уравнений методом Ньютона - Канторовича через матрицу Якоби. Очень важно подобрать начальные значения параметров. В качестве начальных значений для декрементов использовалась следующая интерполяционная формула:

$$\alpha_i = - \left| 5 - \frac{0.75}{m_i} \right|, \text{ где } m_i - \text{ экстремумы спектра мощ-}$$

ности. На рис. 1 представлены зависимости разности частот максимума спектра мощности и заложенной в модели в зависимости от нее для разных декрементов затухания. Как видно из графика, при больших значениях частот частота максимума превышает частоту, заложенную в модели. Т. о. начальная частота модели оценивалась по частоте максимума спектра мощности.

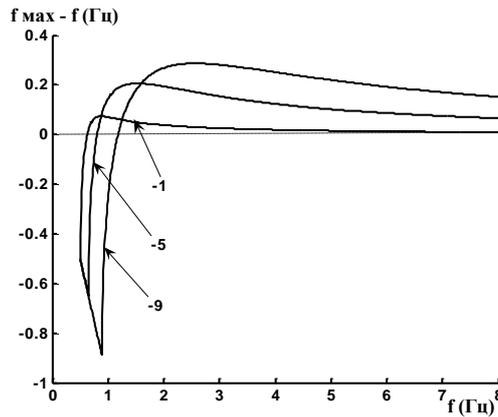


Рисунок 1. Зависимости разности частот максимума спектра мощности и заложенной в модели в зависимости от моделируемой частоты при разных значениях декремента затухания (указаны стрелкой).

По времени пересечения усредненной автокорреляционной функции оси абсцисс определялись начальные значения коэффициентов  $k_i^2$  модели. Далее программа с заданным шагом перебирала все параметры, определяя минимум суммы квадратов разности моделируемой автокорреляционной функции и усредненной реальной. Эти параметры и были начальными значениями для метода Ньютона – Канторовича. На рис. 2 представлены примеры моделируемых функций и определения их параметров в случае одного (а, г), двух (б, д) и трех (в, е) экстремумов усредненного спектра мощности.

Еще в 80-е годы прошлого столетия нами был разработан метод представления вторичного вызванного ответа суперпозицией двух затухающих колебаний [8, с. 135]. Этот метод, учитывающий декрементность процессов как в вызванных потенциалах,

так и в фоне, оказался более эффективным по сравнению с разложением на незатухающие гармонические составляющие Фурье. В работе [7] моделирование ЭЭГ с известными параметрами позволило оценить точность предлагаемого метода. Лучшие результаты (расхождения менее 5%) получались при частоте дискретизации 1 кГц, что необходимо для более точного определения пересечения средней автокорреляционной функции с осью абсцисс, при увеличении числа суммаций (эффект метода синхронного суммирования), увеличения точности итераций подбора частоты и декремента теоретической автокорреляционной функции насколько позволяет операционная система MATLAB. Точность предложенного метода оказалась намного выше, чем метода суперпозиций затухающих колебаний [8], примененного к разложению автокорреляционных функций.

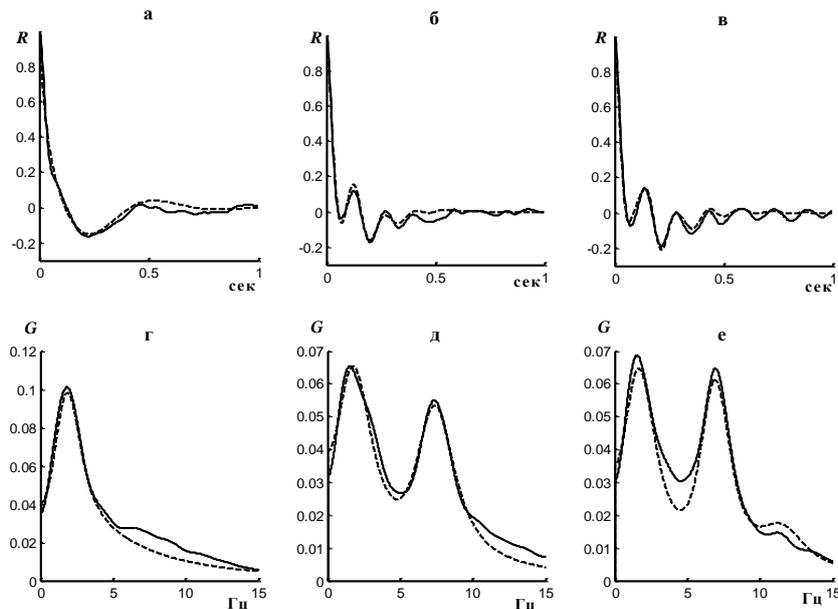


Рисунок 2. Примеры экспериментальных усредненных автокорреляционных функций (а, б, в) и их спектров мощности (г, д, е). Усреднение по 40 эпохам анализ. Пунктирные линии – подобранный теоретический спектр мощности

**Выводы**

Таким образом, показана возможность определения декрементных параметров ЭЭГ с приемлемой точностью.

**Список литературы**

1. Батуев А.С. Нейрофизиология коры головного мозга. (Модульный принцип организации).- Л.: Изд-во ЛГУ, 1984, 214 с.
2. Бахарев Б.В., Жадин М.Н. Влияние тормозно-тормозных связей и формы постсинаптических потенциалов на формирование ритмических процессов в коре головного мозга: анализ приближенного уравнения электроэнцефалограммы // Биофизика, Т. 42, № 1, 1997, С. 214-222.
3. Бахарев Б.В., Жадин М.Н., Агладзе Н.Н. Ритмические процессы в биоэлектрической активности коры головного мозга при реакции активации: качественный нелинейный анализ с учетом рефрактерности, Биофизика, Т. 46, № 4, 2001, С. 715-723.
4. Бахарев Б.В. Колебательные процессы биоэлектрической активности коры головного мозга, Математическое моделирование, Т. 16, № 4, 2004, С. 55-66.
5. Бахарев Б.В., Жадин М.Н. Влияние потенциала зависимости амплитуды постсинаптических потенциалов на ритмические процессы биоэлектрической активности коры головного мозга, Биофизика, Т. 49, № 4, 2004, С. 747-755.
6. Бахарев Б.В., Жадин М.Н. К вопросу о структуре электроэнцефалограммы, Биофизика, Т. 49, № 6, 2004, С. 1121-1124.
7. Бахарев Б.В. Измерение частотно - декрементных параметров электроэнцефалограммы. Наука и образование в XXI веке: сб. науч. тр. по мат-лам Междунар. науч.-практ. конф. 30 сентября 2013 г.: Часть 3. Тамбов, 2013, с. 20-21.
8. Жадин М.Н., Игнатъев Д.А., Павлик В.Д., Бахарев Б.В. Автоматический анализ биоэлектрической активности мозга. Сб. "Автоматизация биофизических исследований", Пушкино, 1979, С. 129-141.

**Будылкин А.А.**

**H-РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЕКТИВНОГО ПРОСТРАНСТВА**

аспирант Балтийского федерального университета имени И. Канта, г. Калининград,

**H-DISTRIBUTION OF PROJECTIVE SPACE**

*Budylnkin Andrey, graduate student of Baltic federal university of I.Kant, Kaliningrad, Russian Federation,*

**АННОТАЦИЯ**

Дано задание H-распределения в  $P_n$ [6]. Рассмотрены поля геометрических объектов в дифференциальной окрестности 1-го порядка [2], [3]. Построены нормализации в смысле Нордена[4] и квазинормали[5] основных структурных подрасслоений в дифференциальной окрестности 1-го и 2-го порядка. Изучение H-распределений актуально, так как эти образы являются обобщениями специальных классов регулярных гиперполос[1] и гиперповерхностей, а также гиперполосных распределений[7]. Работа выполнена методом Лаптева Г.Ф.[2] Индексы принимают значения  $\bar{I}, \bar{J}, \bar{K}, \dots = \overline{0, n}; I, J, K, \dots = \overline{1, n}; a, b, c, \dots = \overline{1, n-1}; i, j, k, \dots = \overline{2, n-1}$ .

**ABSTRACT**

Given a presentation of H-distribution of  $P_n$  [6]. Considered fields of geometric objects in the differential neighborhood of the 1st order [2], [3]. Built normalizations[4] in the sense of Norden and kvozinormali[5] of the main structural sub-bundles in the differential neighborhood of the 1st and 2nd order. Study of H-distributions important, because these images are generalizations of the special classes of regular hyperbands [1] and hypersurfaces and hyperband distribution [7]. Work performed by G.F. Laptev [2] Indices take values  $\bar{I}, \bar{J}, \bar{K}, \dots = \overline{0, n}; I, J, K, \dots = \overline{1, n}; a, b, c, \dots = \overline{1, n-1}; i, j, k, \dots = \overline{2, n-1}$ .

Ключевые слова: распределения; тензор; квазитензор; нормализация.

Keywords: distribution; tensor; kvazitensor; normalization.

**§1. Задание H-распределения в n-мерном проективном пространстве**

Скомпонованным гиперплоскостным распределением (H-распределением) называется гиперплоскостное H-распределение, в каждом центре X которого зафиксированы две плоскости  $\Lambda_{n-2}(X)$ ,  $L_1(X)$  такие, что выполняются соотношения:

$$[\Lambda_{n-2}(X), L_1(X)] = H_{n-1}(X), \Lambda_{n-2}(X) \cap L_1(X) = X.$$

Присоединим к образующему элементу H-распределения проективный репер  $R_0 = \{A_0, A_1\}$  следующим образом:  $X \equiv A_0, \{A_i\} \subset \Lambda(A_0)$ ,  $A_1 \in L(A_0)$ ,  $A_n \notin H_{n-1}$ . В репере  $R_0$  H-распределение задается следующим образом:

$$\begin{aligned}\omega_i^n &= \Lambda_{iK}^n \omega_0^K, \omega_1^n = \Lambda_{1K}^n \omega_0^K, \omega_i^1 = \Lambda_{iK}^1 \omega_0^K, \omega_1^i = \Lambda_{1K}^i \omega_0^K, \\ \nabla \Lambda_{iK}^n + \Lambda_{iK}^n \omega_0^0 - \delta_K^n \omega_i^0 &= \Lambda_{iKL}^n \omega^L, \nabla \Lambda_{1K}^n + \Lambda_{1K}^n \omega_0^0 - \delta_K^n \omega_1^0 = \Lambda_{1KL}^n \omega^L, \\ \nabla \Lambda_{iK}^1 + \Lambda_{iK}^1 \omega_0^0 + \Lambda_{iK}^n \omega_n^1 - \delta_K^1 \omega_i^0 &= \Lambda_{iKL}^1 \omega^L, (1) \\ \nabla \Lambda_{1K}^i + \Lambda_{1K}^i \omega_0^0 + \Lambda_{1K}^n \omega_n^i - \delta_K^i \omega_1^0 &= \Lambda_{1KL}^i \omega^L,\end{aligned}$$

Функции, стоящие в правых частях равенств, вообще говоря, являются несимметричными по нижним индексам.

Совокупность функций  $\Gamma_1 = \{\Lambda_{1K}^i, \Lambda_{1K}^n, \Lambda_{iK}^1, \Lambda_{iK}^n\}$  образует фундаментальный объект 1-го порядка Н-распределения. Продолжения уравнений (1) вводят в рассмотрение фундаментальные объекты  $\Gamma_2 = \{\Gamma_1, \Lambda_{iKL}^1, \Lambda_{iKL}^n, \Lambda_{iKL}^n\}$  и  $\Gamma_3 = \{\Gamma_1, \Gamma_2, \Lambda_{iKLM}^1, \Lambda_{iKLM}^n, \Lambda_{iKLM}^n\}$  соответственно 2-го и 3-го порядка Н-распределения [2]. Таким образом, получаем последовательность фундаментальных геометрических объектов  $\Gamma_1 \subset \Gamma_2 \subset \Gamma_3 \subset \dots$

Имеет место теорема существования Н-распределения:

**Теорема 1.** В  $n$ -мерном проективном пространстве репере  $R_0$  гиперплоскостное скомпонованное распределение существует с произволом (3n-5) функций от  $n$  аргументов.

## §2. Построение полей геометрических объектов Н-распределения в дифференциальной окрестности первого порядка

В дальнейшем будем рассматривать Н-распределение, для которого в каждом центре  $A_0$  прямая  $L_1$  сопряжена с плоскостью  $\Lambda_{n-2}$  относительно главного фундаментального тензора, т.е. выполняются условия

$$\Lambda_{i1}^n = 0; \Lambda_{1i}^n = 0. (2)$$

В этом случае компоненты тензора  $\Lambda_{\alpha\beta}^n$  будут иметь следующее строение:

$$\|\Lambda_{ab}^n\| = \begin{vmatrix} \Lambda_{ij}^n & 0 \\ 0 & \Lambda_{11}^n \end{vmatrix}.$$

В силу регулярности Н-распределения тензор  $\Lambda_{ab}^n$  невырожденный, т.е.  $\det \|\Lambda_{ab}^n\| \neq 0$ . (3)

Следовательно, в силу (3) для тензора первого порядка введём обращённый ему тензор  $\{\Lambda_n^{bc}\}$ , удовлетворяющий следующим соотношениям и уравнениям:

$$\Lambda_{ab}^n \Lambda_n^{bc} = \delta_a^c, \Lambda_{ab}^n \Lambda_n^{ca} = \delta_b^c, \nabla \Lambda_n^{ab} - \Lambda_n^{ab} \omega_0^0 = \Lambda_{nK}^{ab} \omega^K.$$

Аналогично, для соответствующих главных фундаментальных тензоров  $L$ -,  $\Lambda$ - подрасслоений  $\{\Lambda_{ij}^n\}, \{\Lambda_{11}^n\}$  вводим обращённые им соответствующие тензоры  $\{\Lambda_n^{ij}\}, \{\Lambda_n^{11}\}$ , такие, что

$$\Lambda_{ij}^n \Lambda_n^{jk} = \delta_i^k, \Lambda_{11}^n \Lambda_n^{11} = 1, \nabla \Lambda_n^{ij} - \Lambda_n^{ij} \omega_0^0 = \Lambda_{nK}^{ij} \omega^K, \nabla \Lambda_n^{11} - \Lambda_n^{11} \omega_0^0 = \Lambda_{nK}^{11} \omega^K.$$

Следуя работе Остиану Н.М. [5] вводим соответствия Бомпьяни-Пантази между нормальными 1-го и 2-го рода соответственно Н-,  $\Lambda$ -,  $L$ - подрасслоений:

$$v_a^0 = -\Lambda_{ab}^n v_n^b - t_a^0, v_n^b = \Lambda_{ab}^n v_b^0 - t_n^b, (4)$$

$$v_i^0 = -\Lambda_{ij}^n v_n^j - t_i^0, v_n^i = -\Lambda_{ij}^n v_j^0 + t_n^i, (5)$$

$$v_1^0 = -\Lambda_{11}^n v_n^1 - t_1^0, v_n^1 = \Lambda_{11}^n v_1^0 + t_n^1, (6)$$

где

$$\begin{aligned}t_a^0 &= \Lambda_{an}^n, \nabla t_a^0 - \Lambda_{ab}^n \omega_n^b + \omega_a^0 = t_{aK}^0 \omega^K, t_n^b = -\Lambda_{ab}^n t_b^0, \nabla t_n^b - \Lambda_{ab}^n \omega_b^0 + \omega_n^b = t_{nK}^b \omega^K, \\ t_i &= \Lambda_{in}^n, \nabla t_i^0 - \Lambda_{ij}^n \omega_n^j + \omega_i^0 = t_{iK}^0 \omega^K, t_n^i = -\Lambda_{ij}^n t_j^0, \nabla t_n^i - \Lambda_{ij}^n \omega_j^0 + \omega_n^i = t_{nK}^i \omega^K, \\ t_1 &= \Lambda_{1n}^n, \nabla t_1^0 - \Lambda_{11}^n \omega_n^1 + \omega_1^0 = t_{1K}^0 \omega^K, t_n^1 = -\Lambda_{11}^n t_1^0, \nabla t_n^1 - \Lambda_{11}^n \omega_1^0 + \omega_n^1 = t_{nK}^1 \omega^K.\end{aligned}$$

В силу (2) уравнения (1) примут вид:

$$\nabla \Lambda_{11}^i + \Lambda_{11}^i \omega_0^0 + \Lambda_{11}^n \omega_n^i = \Lambda_{11K}^i \omega_0^K, \nabla \Lambda_{1j}^i + \Lambda_{1j}^i \omega_0^0 - \delta_j^i \omega_1^0 = \Lambda_{1jK}^i \omega_0^K,$$

$$\nabla \Lambda_{1n}^i + \Lambda_{1n}^i \omega_0^0 + \Lambda_{1n}^n \omega_n^i - \Lambda_{11}^n \omega_n^1 - \Lambda_{1j}^n \omega_n^j = \Lambda_{1nK}^i \omega_0^K, \nabla \Lambda_{11}^n + \Lambda_{11}^n \omega_0^0 = \Lambda_{11K}^n \omega_0^K, (7)$$

$$\begin{aligned} \nabla \Lambda_{1n}^n + \Lambda_{1n}^n \omega_0^0 - \Lambda_{11}^n \omega_n^1 + \omega_1^0 &= \Lambda_{1nK}^n \omega_0^K, \quad \nabla \Lambda_{ij}^1 + \Lambda_{ij}^1 \omega_0^0 + \Lambda_{ij}^n \omega_n^1 = \Lambda_{ijK}^1 \omega_0^K, \\ \nabla \Lambda_{in}^1 + \Lambda_{in}^1 \omega_0^0 + \Lambda_{in}^n \omega_n^1 - \Lambda_{ij}^n \omega_n^j &= \Lambda_{inK}^1 \omega_0^K, \quad \nabla \Lambda_{i1}^1 + \Lambda_{i1}^1 \omega_0^0 - \omega_i^0 = \Lambda_{i1K}^1 \omega_0^K, \\ \nabla \Lambda_{ij}^n + \Lambda_{ij}^n \omega_0^0 &= \Lambda_{ijK}^n \omega_0^K, \quad \nabla \Lambda_{in}^n + \Lambda_{in}^n \omega_0^0 - \Lambda_{ij}^n \omega_n^j + \omega_i^0 = \Lambda_{inK}^n \omega_0^K, \end{aligned}$$

Введём нормализацию в смысле Нордена[4] для  $\Lambda$ -подрасслоения.

**Определение.**  $\Lambda$ -подрасслоение называют нормализованным в смысле Нордена, если к нему инвариантным образом присоединены поля нормалей первого рода  $N_2$  и нормалей второго рода  $N_{n-3}$ :

$$\nabla v_n^i + \omega_n^i = v_{nK}^i \omega^K, \tag{a}$$

$$\nabla v_i^0 + \omega_i^0 = v_{iK}^0 \omega^K, \tag{b} \tag{8}$$

причём в каждом центре  $A_0$  нормаль первого рода  $N_2=[A_0, A_1, X_n]$  проходит через прямую  $L_1 \subset H(A_0)$ .

Условие инвариантности нормали  $N_2$ , где

$$X_n = A_n + v_n^i A_i + v_n^1 A_1,$$

приводит к соотношению (8a). Если потребовать, чтобы прямая  $h=[A_0, X_n]$  была инвариантной, то кроме (8a) получим условие

$$\nabla v_n^1 + \omega_n^1 = v_{nK}^1 \omega^K. \tag{9}$$

Уравнение (9) выполняется, если охват объекта  $v_n^1$  осуществить с помощью квазитензора  $\{\lambda_n^1\}$ :  $\lambda_n^1 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{n-2} \Lambda_{ij}^1 \Lambda_n^{ji}$ . В дальнейшем считаем, что прямая

$$h=[A_0, X_n], \text{ где } X_n = A_n + v_n^i A_i + \lambda_n^1 A_1,$$

инвариантна. Нормаль второго рода  $N_{n-3}$  плоскости

$$\Lambda(A_0) \text{ задаётся точками } M_i = A_i + v_i^0 A_0,$$

где  $\{v_i^0\}$  удовлетворяет уравнению (8b). Если охваты квазитензоров осуществить по формулам

$$\begin{aligned} v_n^i &= \lambda_n^i, \lambda_n^i \stackrel{\text{def}}{=} \Lambda_{11}^i \Lambda_i^{11}, v_i^0 = \lambda_i^0, \lambda_i^0 \stackrel{\text{def}}{=} \Lambda_{ij}^n \lambda_n^j + t_i^0, \\ \text{где } \nabla \lambda_n^i + \omega_n^i &= \lambda_{nK}^i \omega^K, \nabla \lambda_i^0 + \omega_i^0 = \lambda_{iK}^0 \omega^K, \end{aligned}$$

то к  $\Lambda$ -подрасслоению в дифференциальной окрестности первого порядка внутренним образом присоединяется нормализация в смысле Нордена  $(\lambda_n^i, \lambda_i^0)$ .

Рассмотрим функцию  $\tau_i^0 = -\Lambda_{i1}^1$ , удовлетворяющую уравнению  $\nabla \tau_i^0 + \omega_i^0 = \tau_{iK}^0 \omega^K$ . Это уравнение определяет поле нормалей второго рода для  $\Lambda$ -подрасслоения. В силу биекции (5) полю нормалей второго рода соответствует поле нормалей первого

рода  $\Lambda$ -подрасслоения в дифференциальной окрестности первого порядка:

$$\tau_n^i = \Lambda_n^{ij} \tau_j^0 - t_n^i, \quad \nabla \tau_n^i + \omega_n^i = \tau_{nK}^i \omega^K.$$

Введём нормализацию в смысле Нордена для  $L$ -подрасслоения.

**Определение.**  $L$ -подрасслоение называют нормализованным в смысле Нордена, если к нему инвариантным образом присоединены поля нормалей первого рода  $N_{n-1}$  и нормалей второго рода  $N_1$ :

$$\nabla v_n^1 + \omega_n^1 = v_{nK}^1 \omega^K, \quad \nabla v_1^0 + \omega_1^0 = v_{1K}^0 \omega^K,$$

причём в каждом центре  $A_0$  нормаль первого рода  $N_{n-1}=[A_0, A_i, X_n]$  проходит через плоскость  $\Lambda_{n-2} \subset H(A_0)$ .

Введем квазитензор  $\{\mu_n^1\}$ :

$$\mu_n^1 = -\frac{1}{n-2} \Lambda_{ij}^1 \Lambda_n^{ji}, \nabla \mu_n^1 + \omega_n^1 = \mu_{nK}^1 \omega^K,$$

который задаёт поле нормалей второго рода  $L$ -подрасслоения. В силу биекции (6) полю нормалей 2-го рода соответствует поле нормалей 1-го рода  $L$ -подрасслоения в дифференциальной окрестности первого порядка:

$$\mu_1^0 = -\Lambda_{11}^n \mu_n^1 - t_1^0, \quad \nabla \mu_1^0 + \omega_1^0 = \mu_{1K}^0 \omega^K.$$

Функции  $\varphi_1^0 = -\frac{1}{n-2} \Lambda_{1i}^i$  удовлетворяют уравнениям  $\nabla\varphi_1^0 + \omega_1^0 = \varphi_{1K}^0 \omega^K$ . Следовательно, квазитензор  $\{\varphi_1^0\}$  в каждом центре  $A_0$  определяет нормаль второго рода для L-подрасслоения. В силу биекции (6)

полю нормалей 2-го рода соответствует поле нормалей 1-го рода L-подрасслоения в дифференциальной окрестности первого порядка:

$$\varphi_n^1 = \Lambda_n^{11} \varphi_1^0, \quad \nabla\varphi_n^1 + \omega_n^1 = \varphi_{nK}^1 \omega^K.$$

$$s_n^i(\varepsilon) = \lambda_n^i + \varepsilon(\tau_n^i - \lambda_n^i), \quad s_i^0(\varepsilon) = \lambda_i^0 + \varepsilon(\tau_i^0 - \lambda_i^0). \tag{10}$$

Аналогично, для L- подрасслоения получим пучок нормалей 1-го рода и по биекции (6) получим пучок нормалей 2-го рода

$$q_n^1(\varepsilon) = \lambda_n^1 + \varepsilon(l_n^1 - \lambda_n^1), \quad q_1^0(\varepsilon) = \lambda_1^0 + \varepsilon(l_1^0 - \lambda_1^0). \tag{11}$$

Совокупности функций  $\{\lambda_n^a\} \stackrel{\text{def}}{=} \{\lambda_n^i, \lambda_n^1\}, \{\tau_n^a\} \stackrel{\text{def}}{=} \{\tau_n^i, \tau_n^1\}$ , определяют поля нормалей 1-го рода H-подрасслоения:

$$\nabla\lambda_n^a + \omega_n^a = \lambda_{nK}^a \omega^K, \quad \nabla\tau_n^a + \omega_n^a = \tau_{nK}^a \omega^K, \tag{12}$$

Поля (12) в силу биекции (4) порождают поля нормалей второго рода H-подрасслоения.

$$\nabla\lambda_a^0 + \omega_a^0 = \lambda_{aK}^0 \omega^K, \quad \nabla\tau_a^0 + \omega_a^0 = \tau_{aK}^0 \omega^K. \tag{13}$$

Построенные поля (13) порождают пучки нормалей 1-го и 2-го рода H-подрасслоения

$$s_n^a(\varepsilon) = \lambda_n^a + \varepsilon(\tau_n^a - \lambda_n^a), \quad q_a^0(\varepsilon) = \lambda_a^0 + \varepsilon(\tau_a^0 - \lambda_a^0). \tag{14}$$

**Теорема 3.** В дифференциальной окрестности первого порядка H-распределения внутренним образом порождает в каждом центре  $A_0$  пучки нормалей 1-го и 2-го рода (10), (11), (14) соответственно  $\Lambda$ -, L-, H-подрасслоений.

**§3. Квазитензоры и квазинормали H-распределения в дифференциальной окрестности первого порядка**

Согласно [3], систему величин  $\{K_a^n\}$  назовём квазинормалью H-распределения, если в выбранном

**Теорема 2.** В дифференциальной окрестности первого порядка к H-распределению внутренним образом присоединяются нормализации  $(\tau_n^i, \tau_i^0), (\lambda_n^i, \lambda_i^0)$   $\Lambda$ -подрасслоения и нормализации  $(\varphi_n^1, \varphi_1^0), (\mu_n^1, \mu_1^0)$  L-подрасслоения в смысле Нордена.

Квазитензоры  $\{\lambda_n^i\}, \{\tau_n^i\}$  функционально независимы, поэтому они определяют пучок нормалей первого рода  $\Lambda$ -подрасслоения и по биекции (5) пучок нормалей 2-го рода:

репере первого порядка при преобразованиях стационарной подгруппы элемента распределения имеем один из следующих законов преобразования ( $K_i$ ):

$$\begin{aligned} \nabla_\delta K_a + K_a \pi_0^0 &= \lambda_{ab}^n \pi_n^b + \mu \pi_a^0, \\ K_a + K_a \pi_0^0 &= \lambda \Lambda_{aj}^n \pi_n^j + \mu \pi_a^0, \tag{15} \\ \nabla_\delta K_a + K_a \pi_0^0 &= \lambda \Lambda_{ba}^n \pi_n^a + \mu \pi_a^0, \end{aligned}$$

где  $\lambda, \mu$  - постоянные числа, не равные нулю.

I. Квазинормали и нормали, ассоциированные с L-подрасслоением

Учитывая уравнения (7), построим следующие квазинормали в дифференциальной окрестности первого порядка.

$$\begin{aligned} K_1^{(1)} &= \Lambda_{1n}^n \nabla_\delta K_1^{(1)} + K_1^{(1)} \pi_0^0 = \Lambda_{11}^n \pi_n^1 + \pi_1^0; \tag{16} \\ K_1^{(2)} &= \frac{1}{2} (\Lambda_{1n}^n - \Lambda_1), \nabla_\delta K_1^{(2)} + K_1^{(2)} \pi_0^0 = \frac{1}{2} \Lambda_{11}^n \pi_n^1 + \pi_1^0; \\ K_1^{(3)} &= \Lambda_1 - \Lambda_{11}^n \Lambda_n^1, \nabla_\delta K_1^{(3)} + K_1^{(3)} \pi_0^0 = \Lambda_{11}^n \pi_n^1 + \pi_1^0; \\ K_1^{(4)} &= \Lambda_{1n}^n - \Lambda_{11}^n \Lambda_n^1, \nabla_\delta K_1^{(4)} + K_1^{(4)} \pi_0^0 = 2\Lambda_{11}^n \pi_n^1 + \pi_1^0. \end{aligned}$$

Один из способов получения инвариантных нормалей  $\{\nu_n^a\}, \{\nu_a^0\}$  1-го и 2-го родов H-распределения заключается в нахождении общих нормалей (в общем случае единственных) двух квазинормалей. Напри-

мер, для L-подрасслоения имеем следующие построения в дифференциальной окрестности первого порядка. Пара  $(K_1^{(1)}, K_1^{(3)})$  определяет инвариантные нормали

$$l_n^1 = -\frac{1}{2} \Lambda_n^{11} (K_1^{(3)} - K_1^{(1)}), \quad \nabla l_n^1 + \omega_n^1 = l_{nK}^1 \omega^K,$$

$$l_1^0 = \frac{1}{2} (K_1^{(3)} - K_1^{(1)}), \nabla l_1^0 + \omega_1^0 = l_{1K}^0 \omega^K.$$

В дальнейшем это соответствие будем обозначать следующим образом:

- а)  $(K_1^{(1)}, K_1^{(3)}) \rightarrow \{l_n^1 = -\frac{1}{2} \Lambda_n^{11} (K_1^{(3)} - K_1^{(1)}), l_1^0 = \frac{1}{2} (K_1^{(3)} - K_1^{(1)})\},$
- б)  $(K_1^{(1)}, K_1^{(2)}) \rightarrow \{\eta_n^1 = 2 \Lambda_n^{11} (K_1^{(2)} - K_1^{(1)}), \eta_1^0 = K_1^{(1)} - 2K_1^{(2)} \stackrel{\text{def}}{=} \Lambda_1\},$
- в)  $(K_1^{(1)}, K_1^{(4)}) \rightarrow \{v_n^1 = \Lambda_n^{11} (K_1^{(1)} - K_1^{(4)}), v_1^0 = K_1^{(4)} - 2K_1^{(1)}\},$
- г)  $(K_1^{(2)}, K_1^{(4)}) \rightarrow \{\rho_n^1 = \frac{2}{3} \Lambda_n^{11} (K_1^{(2)} - K_1^{(4)}), \rho_1^0 = \frac{1}{3} (K_1^{(4)} - 4K_1^{(2)})\},$
- д)  $(K_1^{(3)}, K_1^{(4)}) \rightarrow \{\xi_n^1 = -\frac{1}{3} \Lambda_n^{11} (K_1^{(3)} - K_1^{(4)}), \xi_1^0 = \frac{1}{3} (2K_1^{(3)} - K_1^{(4)})\},$
- е)  $(K_1^{(2)}, K_1^{(3)}) \rightarrow \{\psi_n^1 = -\frac{2}{3} \Lambda_n^{11} (K_1^{(2)} - K_1^{(3)}), \psi_1^0 = \frac{1}{3} (K_1^{(3)} - 2K_1^{(2)})\}.$

**Теорема 4.** В дифференциальной окрестности 1-го порядка Н-распределение внутренним инвариантным образом порождает шесть нормализаций  $(l_n^1, l_1^0), (\eta_n^1, \eta_1^0), (v_n^1, v_1^0), (\rho_n^1, \rho_1^0), (\xi_n^1, \xi_1^0), (\psi_n^1, \psi_1^0)$  L-под-расслоения.

II. Нормализации, ассоциированные с  $\Lambda$ -подрасслоением Н-распределения

В силу уравнений (7) получаем следующие дифференциальные уравнения квазинормалей  $\Lambda$ -

подрасслоения в дифференциальной окрестности 1-го порядка.

$$\begin{aligned} Q_i^{(1)} &= A_{in}^n \stackrel{\text{def}}{=} \lambda_i, \nabla_\delta Q_i^{(1)} + Q_i^{(1)} \pi_0^0 = A_{ij}^n \pi_n^j + \pi_i^0, (17) \\ Q_i^{(2)} &= \frac{1}{2} (A_{in}^n - A_i), \nabla_\delta Q_i^{(2)} + Q_i^{(2)} \pi_0^0 = \frac{1}{2} A_{ij}^n \pi_n^j + \pi_i^0, \\ Q_i^{(3)} &= A_i - A_{ij}^n A_n^j, \nabla_\delta Q_i^{(3)} + Q_i^{(3)} \pi_0^0 = A_{ij}^n \pi_n^j - \pi_i^0, \\ Q_i^{(4)} &= A_{in}^n - A_{ij}^n A_n^j, \nabla_\delta Q_i^{(4)} + Q_i^{(4)} \pi_0^0 = 2A_{ij}^n \pi_n^j - \pi_i^0. \end{aligned}$$

Квазинормали (17) порождают следующие пары нормалей 1-го и 2-го рода  $\Lambda$ -подрасслоения в дифференциальной окрестности 1-го порядка:

- а)  $(Q_i^{(1)}, Q_i^{(3)}) \rightarrow \{l_n^1 \stackrel{\text{def}}{=} -\frac{1}{2} A_n^{ij} (Q_j^{(3)} - Q_j^{(1)}), l_i^0 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{2} (Q_i^{(3)} - Q_i^{(1)})\},$
- б)  $(Q_i^{(1)}, Q_i^{(2)}) \rightarrow \{\eta_n^1 \stackrel{\text{def}}{=} 2A_n^{ij} (Q_j^{(2)} - Q_j^{(1)}), \eta_i^0 \stackrel{\text{def}}{=} Q_i^{(1)} - 2Q_i^{(2)}\},$
- в)  $(Q_i^{(1)}, Q_i^{(4)}) \rightarrow \{v_n^1 \stackrel{\text{def}}{=} A_n^{ij} (Q_j^{(1)} - Q_j^{(4)}), v_i^0 \stackrel{\text{def}}{=} Q_i^{(4)} - 2Q_i^{(1)}\},$
- г)  $(Q_i^{(2)}, Q_i^{(4)}) \rightarrow \{\rho_n^1 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{2}{3} A_n^{11} (Q_i^{(2)} - Q_i^{(4)}), \rho_i^0 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{3} (Q_i^{(4)} - 4Q_i^{(2)})\},$
- д)  $(Q_i^{(3)}, Q_i^{(4)}) \rightarrow \{\xi_n^1 \stackrel{\text{def}}{=} -\frac{1}{3} A_n^{ij} (Q_j^{(3)} - Q_j^{(4)}), \xi_1^0 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{3} (2Q_i^{(3)} - Q_i^{(4)})\},$
- е)  $(Q_i^{(2)}, Q_i^{(3)}) \rightarrow \{\psi_n^1 \stackrel{\text{def}}{=} -\frac{2}{3} A_n^{ij} (Q_j^{(2)} - Q_j^{(3)}), \psi_i^0 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{3} (Q_i^{(3)} - 2Q_i^{(2)})\}.$

Итак, справедлива

**Теорема 5.** В дифференциальной окрестности 1-го порядка Н-распределение внутренним инвариантным образом порождает шесть нормализаций  $(l_n^1, l_1^0), (\eta_n^1, \eta_1^0), (v_n^1, v_1^0), (\rho_n^1, \rho_1^0), (\xi_n^1, \xi_1^0), (\psi_n^1, \psi_1^0)$   $\Lambda$ -подрасслоения.

**§4. Построение квазинормалей и нормалей основных структурных подрасслоений в дифференциальной окрестности второго порядка**

I. Так как  $\Lambda$ -подрасслоение невырождено, т.е.

$$\det \| \Lambda_{ij}^n \| = \Lambda_0 \neq 0. (18)$$

Дифференцируя (18), получим

$$d \ln \Lambda_0 = 2\omega_i^i - (n-2)(\omega_n^n + \omega_0^0) + A_K \omega^K, (19)$$

$$\text{где } A_K = \Lambda_n^{ji} \Lambda_{iK}^n$$

Продолжение уравнения (19) приводит к уравнениям

$$\begin{aligned} dA_K + A_K \omega_0^0 - A_L \omega_K^L - 2A_{SK}^n \omega_n^S + 2\delta_K^i \omega_i^0 - \\ - (n-2)(A_{SK}^n \omega_n^S + A_{1K}^n \omega_n^1 - \delta_K^S \omega_S^0 - \delta_K^1 \omega_1^0) = \\ A_{KL} \omega^L. (20) \end{aligned}$$

Отсюда при  $K=i$ , в частности, получаем уравнение

$$dA_i + A_i \omega_0^0 - A_j \omega_i^j - n \Lambda_{Ki}^n \omega_n^K + n \omega_i^0 \equiv 0,$$

которое при фиксации центра  $A_0$   $H$ -распределения примет вид

$$\nabla_{\delta} A_i + A_i \pi_0^0 + n \pi_i^0 - n A_{ji}^n \pi_n^j = 0, \quad (21)$$

Таким образом, функции

$$Q_i^{(5)} = \frac{1}{n} A_i, \nabla_{\delta} Q_i^{(5)} + Q_i^{(5)} \pi_0^0 = A_{ji}^n \pi_n^j - \pi_i^0$$

$$dA_1 + A_1 \omega_0^0 - A_1 \omega_1^1 - (n-2) A_{11}^n \omega_1^1 + (n-2) \omega_1^0 = A_{1K} \omega^K. \quad (22)$$

Введём в рассмотрение функцию

$$K_1^{(5)} = \frac{1}{n-2} A_1 \stackrel{\text{def}}{=} L_1, \quad (23)$$

Которая в силу (22) при фиксации центра  $A_0$   $H$ -распределения удовлетворяет уравнению

$$\nabla_{\delta} K_1^{(5)} + K_1^{(5)} \pi_0^0 = A_{11}^n \pi_n^1 - \pi_1^0. \quad (24)$$

задают в дифференциальной окрестности второго порядка квазинормаль, ассоциированную с  $L$ -подрасслоением. Полагая  $K=1$ , из (20) получаем

В силу формулы  $\nabla l_n^1 + \omega_n^1 = l_{nK}^1 \omega^K$  и из (24) следует, что функция  $\{K_1^{(5)}\}$  задаёт квазинормаль 2-го порядка  $L$ -подрасслоения.

II. Аналогично п.1, учитывая, что  $\det \|A_{11}^n\| = L_0 \neq 0$ ,

$$dA_{11}^n = A_{11}^n \omega_1^1 + A_{11}^n \omega_i^1 - A_{11}^n \omega_n^n - A_{11}^n \omega_0^0 + A_{11K}^n \omega^K. \quad (25)$$

и дифференцируя (25), получим

$$d \ln L_0 = d A_{11}^n A_n^{11} = \left( A_{11}^n \omega_1^1 + A_n^{11} \omega_1^1 - A_{11}^n \omega_n^n - A_{11}^n \omega_0^0 + A_{11K}^n \omega^K \right) A_n^{11} = 2 \omega_1^1 - \omega_n^n - \omega_0^0 + L_K \omega^K,$$

где  $L_K = A_n^{11} A_{11K}^n$ .

Продолжая уравнения (25), получим

$$\nabla A_{11K}^n + 2 A_{11K}^n \omega_0^0 + 3 A_{11}^n \delta_K^1 \omega_1^0 + A_{11}^n \delta_K^i \omega_i^0 - A_{11}^n A_{iK}^n \omega_n^i - 3 A_{11}^n A_{1K}^n \omega_n^1 \equiv 0. \quad (26)$$

Из (26) при  $K=i$  находим

$$\nabla A_{11i}^n + 2 A_{11i}^n \omega_0^0 + A_{11}^n \delta_K^i \omega_i^0 - A_{11}^n A_{ji}^n \omega_n^j \equiv 0. \quad (27)$$

Вводим в рассмотрение функции

$$L_i = A_{11i}^n A_n^{11} = A_n^{11} A_{11i}^n, \nabla_{\delta} L_i + L_i \pi_0^0 = A_{ji}^n \pi_n^j - \pi_i^0, Q_i^{(6)} \stackrel{\text{def}}{=} L_i, \quad (28)$$

которые определяют квазинормаль  $L$ -подрасслоения в дифференциальной окрестности второго порядка.

III. При  $K=1$  из уравнений (26) имеем

$$\nabla A_{111}^n + 2 A_{111}^n \omega_0^0 + 3 A_{11}^n \omega_1^0 - 3 A_{11}^n A_{11}^n \omega_n^1 \equiv 0. \quad (29)$$

Из уравнений (29), (7), получим

$$L_1 = \frac{1}{3} A_{111}^n A_n^{11} \stackrel{\text{def}}{=} K_1^{(6)}, \nabla L_1 + L_1 \omega_0^0 - A_{11}^n \omega_n^1 + \omega_1^0 \equiv 0,$$

т.е. в силу (15) утверждаем, что функция  $\{K_1^{(6)}\}$  образует квазинормаль 2-го порядка, ассоциированную с  $L$ -подрасслоением.

IV. Используя квазинормали (17) и (21), (28), для каждой пары построим нормали 1-го и 2-го рода в дифференциальной окрестности второго порядка при условии, что тензор неголономности  $r_{ij}^n = 0$ , где  $r_{ij}^n = \frac{1}{2} (A_{ij}^n - A_{ji}^n)$ :

$$\begin{aligned} (Q_i^{(1)}, Q_i^{(5)}) &\rightarrow \left\{ Q_n^i \stackrel{\text{def}}{=} -\frac{1}{2} (A_{ij}^n + A_{ji}^n) a_n^{ij}, Q_i^0 \stackrel{\text{def}}{=} -\frac{1}{2} (Q_i^{(1)} - Q_i^{(5)}) \right\}, (Q_i^{(2)}, Q_i^{(5)}) \\ &\rightarrow \left\{ Q_n^i \stackrel{\text{def}}{=} 2 a_n^{ij} \left( \frac{1}{2} Q_j^{(5)} - Q_j^{(2)} \right), Q_i^0 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{3} (Q_i^{(5)} - 2 Q_i^{(2)}) \right\}, \\ (Q_i^{(4)}, Q_i^{(5)}) &\rightarrow \left\{ Q_n^i \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{3} (Q_i^{(4)} + Q_i^{(5)}), Q_i^0 \stackrel{\text{def}}{=} 2 Q_i^{(5)} + Q_i^{(4)} \right\}, (30) \\ (Q_i^{(1)}, Q_i^{(6)}) &\rightarrow \left\{ P_n^i \stackrel{\text{def}}{=} -\frac{1}{2} (A_{ij}^n + A_{ji}^n) a_n^{ij}, P_i^0 \stackrel{\text{def}}{=} -\frac{1}{2} (Q_i^{(1)} - Q_i^{(6)}) \right\}, (Q_i^{(2)}, Q_i^{(6)}) \\ &\rightarrow \left\{ P_n^i \stackrel{\text{def}}{=} 2 a_n^{ij} \left( \frac{1}{2} Q_j^{(6)} - Q_j^{(2)} \right), P_i^0 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{3} (Q_i^{(6)} - 2 Q_i^{(2)}) \right\}, (Q_i^{(4)}, Q_i^{(6)}) \\ &\rightarrow \left\{ P_n^i \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{3} (Q_i^{(4)} + Q_i^{(6)}), P_i^0 \stackrel{\text{def}}{=} 2 Q_i^{(6)} + Q_i^{(4)} \right\}. \end{aligned}$$

**Замечание.** Если  $r_{ij}^n \neq 0$ , т.е.  $\Lambda$ -подрасслоение не голономно, то для нормалей  $Q_n^i, \mathcal{Q}_n^i, \mathcal{P}_n^i, \mathcal{T}_n^i, \mathcal{F}_n^i$  нет соответствующих нормалей 2-го рода в каждом центре распределения.

**Теорема 6.** В дифференциальной окрестности 2-го порядка при условии, что тензор неголономности  $r_{ij}^n = 0$ , внутренним инвариантным образом присоединяется к  $N$ -распределению шесть функционально независимых нормализаций в смысле Нордена  $(Q_i^{(1)}, Q_i^{(5)}), (Q_i^{(2)}, Q_i^{(5)}), (Q_i^{(4)}, Q_i^{(5)}), (Q_i^{(1)}, Q_i^{(6)}), (Q_i^{(2)}, Q_i^{(6)}), (Q_i^{(4)}, Q_i^{(6)})$   $\Lambda$ -подрасслоения.

С помощью квазинормалей (16) и (23), (30) для каждой пары построим нормали 1-го и 2-го рода в дифференциальной окрестности второго порядка:

$$\begin{aligned} (K_1^{(1)}, K_1^{(5)}) &\rightarrow \left\{ K_n^1 \stackrel{\text{def}}{=} -\frac{1}{2}(K_1^{(1)} + K_1^{(5)}), K_1^0 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{2}(K_1^{(5)} - K_1^{(1)}) \right\}, (K_1^{(2)}, K_1^{(5)}) \\ &\rightarrow \left\{ \mathcal{D}_n^1 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{2}{3} \Lambda_n^{11}(K_1^{(2)} + K_1^{(5)}), \mathcal{D}_1^0 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{3}(K_1^{(5)} - 2K_1^{(2)}) \right\}, (K_1^{(3)}, K_1^{(5)}) \\ &\rightarrow \left\{ \mathcal{G}_n^1 \stackrel{\text{def}}{=} -\frac{1}{2}(K_1^{(3)} + K_1^{(5)}), \mathcal{G}_1^0 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{2}(K_1^{(5)} - K_1^{(3)}) \right\}, \\ (K_1^{(4)}, K_1^{(5)}) &\rightarrow \left\{ \mathcal{Q}_n^1 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{3}(K_1^{(4)} + K_1^{(5)}), \mathcal{Q}_1^0 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{2}\left(K_1^{(5)} - \frac{1}{2}K_1^{(4)}\right) \right\}, \\ (K_1^{(1)}, K_1^{(6)}) &\rightarrow \left\{ K_n^1 \stackrel{\text{def}}{=} -\frac{1}{2}(K_1^{(1)} + K_1^{(6)}), K_1^0 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{2}(K_1^{(5)} - K_1^{(1)}) \right\}, \\ (K_1^{(2)}, K_1^{(6)}) &\rightarrow \left\{ \mathcal{D}_n^1 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{2}{3} \Lambda_n^{11}(K_1^{(2)} + K_1^{(6)}), \mathcal{D}_1^0 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{3}(K_1^{(6)} - 2K_1^{(2)}) \right\}, \\ (K_1^{(3)}, K_1^{(6)}) &\rightarrow \left\{ \mathcal{G}_n^1 \stackrel{\text{def}}{=} -\frac{1}{2}(K_1^{(3)} + K_1^{(6)}), \mathcal{G}_1^0 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{2}(K_1^{(6)} - K_1^{(3)}) \right\}, \\ (K_1^{(4)}, K_1^{(6)}) &\rightarrow \left\{ \mathcal{Q}_n^1 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{3}(K_1^{(4)} + K_1^{(6)}), \mathcal{Q}_1^0 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{2}\left(K_1^{(6)} - \frac{1}{2}K_1^{(4)}\right) \right\}. \end{aligned}$$

**Теорема 7.** В дифференциальной окрестности 2-го порядка внутренним инвариантным образом присоединяется к  $N$ -распределению восемь функционально независимых нормализаций в смысле Нордена

$$\begin{aligned} (K_1^{(1)}, K_1^{(5)}), (K_1^{(2)}, K_1^{(5)}), (K_1^{(3)}, K_1^{(5)}), (K_1^{(4)}, K_1^{(5)}), \\ (K_1^{(1)}, K_1^{(6)}), (K_1^{(2)}, K_1^{(6)}), \\ (K_1^{(3)}, K_1^{(6)}), (K_1^{(4)}, K_1^{(6)}) \end{aligned}$$

$\Lambda$ -подрасслоения.

**Список литературы:**

1. Вагнер В.В. Теория поля локальных гиперполос. Тр. Семинара по векторному и тензорному анализу - 1950. - Вып.8. - С. 197-272.
2. Лаптев Г.Ф. Дифференциальная геометрия погруженных многообразий. Теоретико-групповой метод дифференциально-геометрических исследований. Тр. Моск. мат. об-ва. - 1953. - Т.2. - С. 275-382.
3. Лаптев Г.Ф., Остиану Н.М. Распределения  $m$ -

мерных линейных элементов в пространстве проективной связности. Тр. Геометрического семинара. ВИНТИ. 1971, Т3, с.49-94.

4. Норден А.П. Пространства аффинной связности. - М.: Наука, 1976. - 432с.
5. Остиану Н.М. Распределение гиперплоскостных элементов в проективном пространстве. Тр. Геометрического семинара. ВИНТИ. 1973, Т4,с.7-70.
6. Попов Ю.И. Основы теории трехсоставных распределений проективного пространства. Монография. Санкт-Петербург. Из-во С-Петербургского университета, 1972.-172с.
7. Столяров А.В. Проективно-дифференциальная геометрия регулярного гиперполосного распределения  $m$ -мерных линейных элементов. - В кн.: Проблемы геометрии (Итоги науки и техн. ВИНТИ АН СССР), М., 1975, Т. 7, с.117-151.

*Суворов Д.В.<sup>1</sup>; Буваков С. Ю.<sup>2</sup>; Гололобов Г. П.<sup>3</sup>; Тарабрин Д. Ю.<sup>4</sup>*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НАНЕСЕНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЁНОК СЕРЕБРА НА СТЕКЛЯННУЮ ПОДЛОЖКУ**

<sup>1</sup>канд. тех. наук, доцент Рязанского государственного радиотехнического университета, г. Рязань  
<sup>2</sup>научный сотрудник, аспирант Рязанского государственного радиотехнического университета, г. Рязань  
<sup>3</sup>канд. тех. наук, доцент Рязанского государственного радиотехнического университета, г. Рязань  
<sup>4</sup>научный сотрудник, аспирант Рязанского государственного радиотехнического университета, г. Рязань

## THE INVESTIGATION OF TECHNOLOGICAL SPUTTERING MODES OF NANOSCALE SILVER FILMS ON A GLASS SUBSTRATE

*Suvorov Dmitry, Candidate of Science, assistant professor of the Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan, Russian Federation*

*Buvakov Sergey, Researcher, graduate student of the Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan, Russian Federation*

*Gololobov Gennady, Candidate of Science, assistant professor of the Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan, Russian Federation*

*Tarabrin Dmitry, Researcher, graduate student of the Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan, Russian Federation*

### АННОТАЦИЯ

*В ходе данной статьи описано исследование влияния условий и технологических режимов формирования тонких плёнок на структуру, и как следствие влияние этих режимов на тепловое излучение образцов стекол с многослойным низкоэмиссионным покрытием. Исследования проводились в лабораторных условиях, в процессе которых анализу подвергалась структура исследуемых образцов, а именно, толщина и шероховатость поверхности, их оптические и тепловые характеристики, а также поверхностное электросопротивление и связанная с ним излучательная способность.*

### ABSTRACT

*In the course of this article is described a study of conditions and the impact technological modes of formation thin films on the structure, and as a consequence of the effect these modes on the thermal radiation of glasses with multi-layer low-E coating. Studies were conducted in laboratory conditions in the structure which are analyzed the test samples, namely, thickness, and surface roughness, the optical and thermal characteristics, as well as the surface resistivity and the associated emittance.*

*Ключевые слова: наноразмерные пленки, энергосберегающие стекла, серебро, электромагнитное излучение, электропроводность, поверхностное сопротивление, излучательная способность.*

*Keywords: nano-sized film, energy-saving glass, silver, electromagnetic radiation, electrical conductivity, surface resistance, radiant emittance.*

**Введение:** Прогресс современной микро- и нанoeлектроники во многом определяется развитием тонкопленочных технологий, позволяющих создавать новые структуры с уникальными свойствами [1]. Тонкие пленки – это слои вещества толщиной от долей нанометра до нескольких микрометров, обладающие рядом особенностей атомно-кристаллической структуры, электрических, оптических и других физических свойств.

Среди всего многообразия многослойных наноразмерных пленок и покрытий особое место занимают оптические покрытия, позволяющие создавать светочиты, реализовать эффект «просветления оптики», изменять поглощение и отражение света в различных диапазонах длин волн. В оптических покрытиях проявление уникальных свойств, становится возможным благодаря использованию чередующихся слоев наноразмерной толщины. Применение чередующихся, различных по составу и структуре наноразмерных слоев позволяет создать на стекле светопрозрачный фильтр с низкоэмиссионным покрытием, отражающим тепловое излучение, который имеет хорошую адгезию к основе и защитный наружный слой и тем самым получить энергосберегающее стекло. Такое стекло, имея низкоэмиссионную пленку толщиной всего в несколько десятков нанометров, ничем не отличается от обычного прозрачного стекла визуально, и абсолютно

прозрачно для человеческого глаза [1, 2].

В настоящее время бурно развивается стекольная промышленность, в которой лидером продаж является низкоэмиссионное стекло обладающее энергосберегающими свойствами. Основной причиной роста производства стекол с энергосберегающими покрытиями стало ужесточение требований к энергоэффективности окон во многих странах мира

Потери тепла через остекление путем теплопроводности и конвекции относительно невелики (примерно по 15%) в сравнении с третьей составляющей теплообмена – тепловым излучением. Поэтому практически единственным путем существенного увеличения теплоизоляционных характеристик окон может быть дополнительное введение в их конструкцию светопрозрачного фильтра с низкоэмиссионным покрытием, отражающего тепловое излучение – низкоэмиссионная энергосберегающая пленка [2].

В настоящей статье представлены результаты экспериментальных исследований энергосберегающих свойств тонкопленочных структур с функциональным слоем серебра. Подобные расчеты и экспериментальные исследования имеют большую научную и практическую значимость.

Актуальность и новизна данной работы заключается как в самом эксперименте, так и в полу-

ченных результатах. Данные образцы впервые подвергали подобному анализу, в результате которого были получены новые данные, имеющие большое значение как для научных работников занятых в сфере тонких плёнок и покрытий, так и для производителей листового стекла с энергосберегающими свойствами.

Целью данной работы является исследование характеристик тонкопленочного оптического покрытия на основе серебра для энергосберегающих стекол и определение оптимальных технологических режимов обеспечивающих высокие значения светопропускания в видимом диапазоне и теплозащитные свойства.

В работе рассматривается влияние режимов работы магнетронной распылительной системы на рельеф и структуру осаждаемого покрытия. Основная задача исследований – нахождение оптимальных параметров получения тонкопленочной структуры для достижения определённых физических свойств и улучшения качества выпускаемой продукции.

**Методы, условия проведения измерений и получение экспериментальных образцов:** Образцами для исследования являлись наноразмерные пленки серебра на стекле, размеры которых составляли 100×100×4 мм. Для проведения исследований было выбрано несколько технологических режимов напыления, в результате чего получены 2 серии образцов:

В первой «Т – серии» проводилось изменение подводимой к катоду мощности (мощности разряда) и как следствие изменение толщины слоя серебра.

Во второй «С – серии» проводилось изменение структуры слоя серебра путём подбора технологических параметров (увеличение времени осаждения при уменьшении мощности разряда) при том, что толщина плёнки оставалась неизменной.

В связи с тем, что исследование чистой пленки серебра в атмосфере не представляется возможным из-за быстрого окисления серебра и, как следствие, ухудшения физических свойств и искажения характеристик, для защиты пленки серебра от окисления поверх слоя наносился дополнительный защитный слой нитрида кремния SiN<sub>x</sub> толщиной 20 нм, а также ещё несколько антидиффузионных и барьерных слоёв, которые являются вспомогательными.

Эксперименты по осаждению пленок проводились в условиях технологического процесса изготовления энергосберегающих стекол, с использованием промышленной установки магнетронного напыления, изготовленной по специальному заказу. Исследование структуры рельефа и шероховатости поверхности экспериментальных образцов проводилось с использованием сканирующего зондового микроскопа «Solver Pro» производства компании NT-MDT (г. Зеленоград). Толщина покрытия в образцах определялась на основе косвенных измерений состояния поляризации при отражении света от поверхности образцов с помощью эллипсометра M-2000 производства компании J.A. Woollam Co., Inc (США). Измерение поверхностного сопротивления образцов пленок серебра на стекле проводилось с помощью измерителя поверхностного сопротивления «Nagy SRM-14T» производства компании Nagy-instruments (Германия).

**Основные физические эффекты, возникающие при взаимодействии электромагнитного излучения с наноразмерным электропроводящим покрытием:** В основе принципа действия энергосберегающего покрытия лежат физические законы взаимодействия электромагнитного излучения с веществом. Основным параметром, описывающим явление энергосбережения, является коэффициент излучения  $\varepsilon$ , который рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{8\varepsilon_0\omega}{\sigma}} \quad (1)$$

где  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума,  $\omega$  – частота излучения, а  $\sigma$  – электропроводность металла. Из этого уравнения следует, что коэффициент излучения  $\varepsilon$  металла обратно пропорционален квадратному корню из проводимости, проще говоря, чем больше проводимость  $\sigma$ , тем ниже коэффициент излучения  $\varepsilon$  [3].

Известно, что электропроводность вещества определяется соотношением:

$$\sigma = e\mu N \quad (2)$$

где  $e$  – заряд электрона (константа),  $N$  – концентрация носителей заряда,  $\mu$  – их подвижность.

Ниже представлена таблица значений электропроводности для различных материалов. Как видно из таблицы серебро обладает самым высоким значением электропроводности. Именно поэтому этот материал используется в основе энергосберегающих покрытий.

Таблица 1

Электропроводность материалов

Вещество	Серебро	Медь	Золото
$\sigma$ , См/м	62 500 000	58 100 000	45 500 000

Для определения значения коэффициента излучения прямым методом используется дорогостоящее и сложное в обращении оборудование, которое сильно подвержено изменениям окружающей среды, в результате чего возникают неоднозначные и нестабильные показания. Намного проще измерить сопротивление поверхности исследуемых образцов  $R_{\square}$ , которое также как и коэффициент излучения зависит от электропроводности материалов. Необходимо лишь учитывать коэффициент пропорциональности, связывающий эти два параметра [3].

В идеальном случае, когда слои полностью однородны с точки зрения структуры и толщины, имеет место следующее соотношение между поверхностным сопротивлением  $R_{\square}$  и проводимостью  $\sigma$ :

$$R_{\square} = 1/(\sigma d) \quad (3)$$

где  $d$  – толщина слоя.

Из этого выражения следует, что поверхностное сопротивление  $R_{\square}$  уменьшается при увеличении толщины слоя  $d$ . Это связано с тем, что в тонких ме-

таллических плёнках с ростом толщины увеличивается концентрация носителей заряда и тем самым уменьшается сопротивление, а, следовательно, и коэффициент излучения.

#### Результаты и обсуждение эксперимента:

**Серия Т:** На данном этапе исследований было получено несколько образцов с различными толщинами серебряной плёнки Ag (4, 8, 12, 16, 20 нм), при сохранении соотношения между мощностью и временем распыления.

Для образцов данной серии представляло интерес исследование следующих параметров:

- толщина  $d$ ,
  - поверхностное электросопротивление  $R_{\square}$ ,
  - коэффициент излучения  $\epsilon$ ,
- а также проводилось исследование рельефа поверхности образцов.

Упомянутые выше параметры образцов серии «Т», в результате проведённых измерений и расчётов, представлены в числовой форме и занесены в таблицу.

Таблица 2

Характеристики образцов серии «Т»

№	Толщина плёнки $d$ , нм	Поверхностное сопротивление $R_{\square}$ , Ом/см <sup>2</sup>	Коэффициент излучения $\epsilon$
1	4	14,2	0,014
2	8	7,2	0,026
3	12	3,7	0,044
4	16	2,2	0,084
5	20	1,4	0,17

Исследование поверхности образцов этой серии с помощью атомно-силового микроскопа не выявило существенного различия в структуре и морфо-

логии покрытий полученных при различной мощности разряда. Типичное АСМ-изображение участка поверхности одного из образцов приведено на рисунке 1.

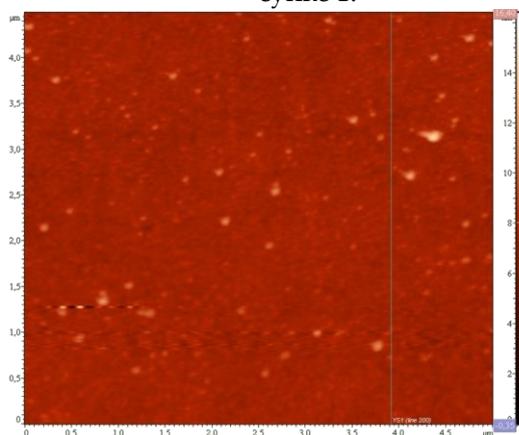


Рисунок 1. АСМ-изображение поверхности образцов серии «Т»

По результатам экспериментов построена зависимость, демонстрирующая связь между поверхностным электросопротивлением и коэффициентом излучения (рисунок 2).

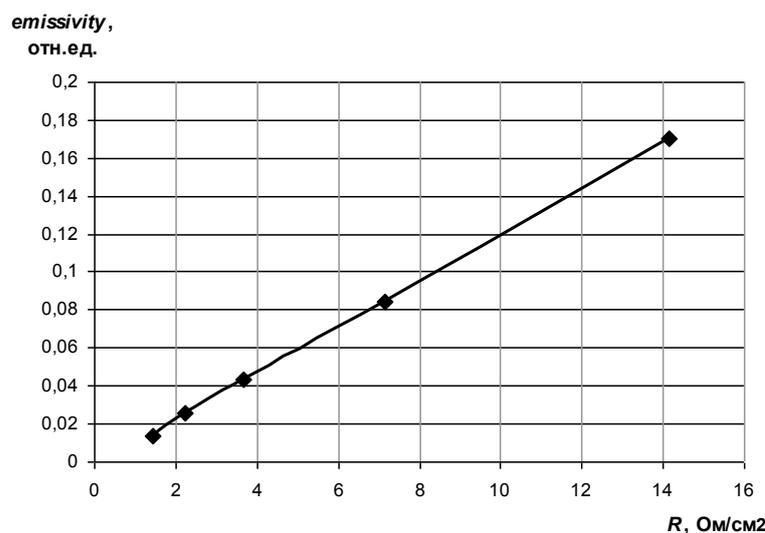


Рисунок 2. Зависимость коэффициента излучения от величины поверхностного сопротивления для образцов серии «Т»

Из рисунка 2 видно, что коэффициент излучения линейно зависит от величины поверхностного сопротивления покрытия, при различных толщинах

плёнки Ag. Влияние толщины плёнки на поверхностное сопротивление образцов наглядно просматривается в приведенной зависимости  $R_{\square}(d)$ , полученной на основе экспериментальных данных.

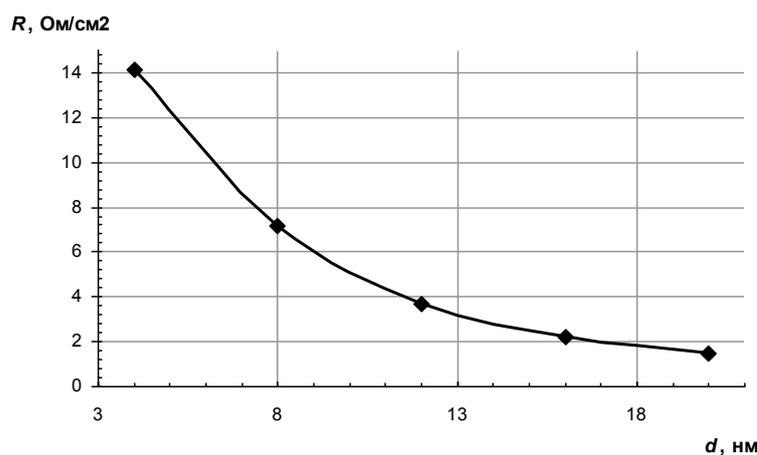


Рисунок 3. Зависимость поверхностного сопротивления от толщины плёнки

Анализируя данную зависимость можно сделать вывод, что минимальное сопротивление достигается при толщине плёнки равной 16 нм, но при этой же толщине плёнка теряет свойство прозрачности, т.е. пропускает меньшее количество видимого излучения. С дальнейшим увеличением толщины плёнка серебра становится непрозрачной и её свойства переходят в свойства массивного объекта [4]. В процессе исследований было определено, что при данном режиме осаждения оптимальной является толщина плёнки равная 12 нм, соответствующая максимальному проценту отражения инфракрасного излучения при том, что выполняется условие прозрачности для видимого излучения.

**Серия С:** Для проведения исследований была выбрана оптимальная толщина плёнки Ag (12 нм) и несколько технологических режимов достижения за-

данной толщины. Для образцов данной серии, полученных в условиях обеспечивающих изменение структуры пленок, представляло интерес исследование следующих параметров:

- шероховатость  $R_a$ ,
- поверхностное электросопротивление  $R_{\square}$ .

В процессе изучения экспериментальных образцов серии «Т», было обнаружено, что на коэффициент излучения тонкоплёночных энергосберегающих покрытий, помимо толщины, заметное влияние оказывает структура и связанная с ней шероховатость поверхности. Как показано в [3] структуру покрытий во многом определяют режимы формирования плёнок. Более конкретно это соотношение мощности разряда и времени распыления для достижения одной и той же толщины плёнки. Из литературных данных [5] известно, что в пленках с выраженной структурной неоднородностью существенное

влияние на поверхностное сопротивление оказывают границы зерен, так как на них происходит рассеивание электронов. Тонкие пленки и покрытия со значительной структурной неоднородностью, как правило, имеют развитый поверхностный рельеф

или шероховатость. Для подтверждения данной теории были проведены эксперименты и получены результаты, отражающие связь технологических режимов напыления со структурной неоднородностью покрытий (таблица 3).

Таблица 3

Технологические режимы нанесения покрытий

№	Мощность распыления $P$ , кВт	Время распыления $t$ , сек	Поверхностное сопротивление $R_{\square}$ , Ом/см <sup>2</sup>	Шероховатость $R_a$ , нм
1	3,2	28	2,63	4,1
2	4,1	20	3,02	5,2
3	7,6	12	3,5	7,3
4	15,2	6	3,92	11
5	24,7	3,5	4,18	12,3

На рисунке приведены АСМ-изображения типичных участков поверхности образцов С-1 – С-5 соответственно. Визуальный анализ сканов свидетельствует об увеличении шероховатости с увеличением

порядкового номера образца, т.е. с уменьшением скорости осаждения и увеличением мощности напыления.

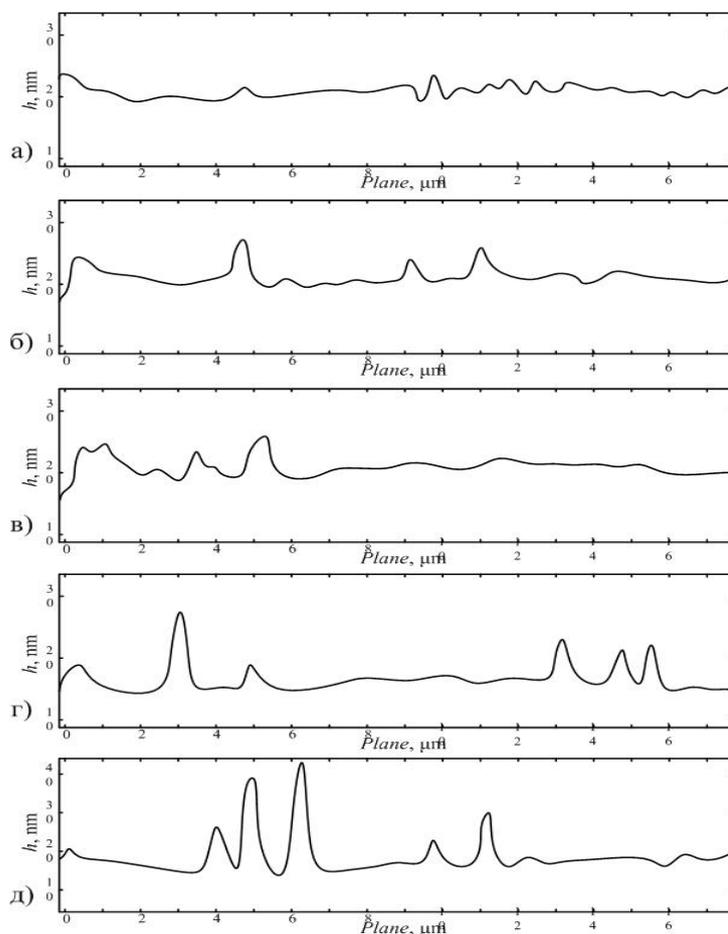


Рисунок 4. Профили сечений поверхности образцов серии «С»

По результатам экспериментов проведён анализ и построена зависимость, демонстрирующая связь поверхностного сопротивления  $R_{\square}$  с шероховатостью  $R_a$  при различных значениях мощности и времени распыления (рисунок 5). Можно заметить, что

поверхностное сопротивление возрастает с увеличением величины шероховатости, что обусловлено укрупнением размера зерен покрытия [5].



Рисунок 5. Зависимость поверхностного сопротивления от шероховатости

Укрупнение связано с тем, что при более высокой мощности увеличивается значение коэффициента распыления материала мишени и возрастает поверхностная энергия частиц осаждаемого материала, что способствует образованию более крупных зародышей и формированию крупнозернистой структуры. В результате этого на подложке образуется большее число неравномерно расположенных зёрен с кристаллографическими пустотами, что уменьшает эффективную площадь токопрохождения, и, соответственно увеличивает поверхностное сопротивление пленки.

**Заключение:** Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что для достижения низкого коэффициента излучения необходимо учитывать различные параметры, связанные не только со структурой и свойствами используемого материала, но также и с режимами работы магнетронных распылительных систем.

Было выявлено следующее:

- тонкие плёнки на основе серебра обладают наименьшим значением коэффициента излучения;
- установлена оптимальная толщина покрытия, при которой обеспечиваются заданные оптические характеристики;
- установлено, что с уменьшением скорости осаждения пленки уменьшается характерный размер зернистой структуры покрытия, т.е. формируется более мелкозернистая структура;
- экспериментально показано, что поверхностное сопротивление слоя серебра определяется не только толщиной пленки, но и ее структурой, зависящей от скорости нанесения покрытия и мощности распыления.

Исходя из всего этого, был выбран наиболее оптимальный режим формирования покрытия – низкая мощность и увеличенное время распыления. При таком режиме работы магнетронной установки плёнка сохраняет свою однородность и равномерный рельеф поверхности, а это в свою очередь позволяет сохранить низкий коэффициент излучения.

Изменяя технологические режимы нанесения можно изменять оптические характеристики пленок, совершенствуя технологию изготовления энергосберегающих стекол.

Результаты проведенной работы могут быть использованы предприятиями, занимающимися производством энергосберегающих стекол, с целью улучшения функциональных характеристик многослойных плёнок и покрытий.

#### Список литературы:

1. Под ред. А. Кавалейро, Д. де Хоссона. Наноструктурные покрытия. Москва: Техносфера, 2011. 752 с.
2. Хасса Г., Тун Р.Э. Физика тонких пленок: Пер. с англ. под ред. Елинсона М.И., Сандомирского В.Б.: в 2 т. М.: Мир, 1967. – 395 с.
3. Glaser H.J. Large Area Glass Coating. Editor: Von Ardenne Anlagentechnik GmbH, Dresden. 2005, 341.
4. Dannenberg R, Stach E. Microstructural and conductivity comparison of Ag films grown on amorphous TiO<sub>2</sub> and polycrystalline ZnO. National Center for Electron Microscopy, Lawrence Berkeley Lab, 2001. Bldg. 72
5. Freund L.B., Suresh S. Thin Film Materials: Stress, Defect Formation and Surface Evolution. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. 802 с.

Сафаров И. И.<sup>1</sup>; Болтаев З. И.<sup>2</sup>; Ахмедов М.Ш.<sup>3</sup>

## СВОБОДНЫЕ ВОЛН В КЛИНЕ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ УГЛОМ ВЕРШИНЫ

<sup>1</sup>доктор физико-математических наук, проф., г.Бухара

<sup>2</sup>научно - соискатель, г.Бухара; <sup>3</sup>старший научный сотрудник, г.Бухара

### FREE WAVES IN A WEDGE WITH AN ARBITRARY ANGLE TOPS

Safarov Ismail Ibrahimovic, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor., Bukhara;

Boltayev Zafar Ihtiyorovich, Researcher, Bukhara; Akhmedov Maqsud Sharipovich Senior Researcher, Bukhara

АННОТАЦИЯ. В работе рассматривается распространение волн в вязкоупругом клине с произвольным углом вершины. Упругий цилиндр с радиальной трещиной является клином углом  $360^\circ$ . Краевая задача для системы дифференциальных уравнений в частных производных решена с помощью метода прямых, что позволяет использовать метод ортогональной прогонки.

ABSTRACT. This paper considers the propagation of waves in viscoelastic wedge with an arbitrary angle peaks. Elastic cylinder with a radial crack is a wedge angle of  $360^\circ$  boundary value problem for a system of differential equations is solved using the method of lines, allowing you to use the method of orthogonal sweep.

Ключевые слова. Клин, трещина, фазовый скорость, волновые поля

Keywords. Wedge, crack, phase velocity, wave fields

**Введение:** В работах [1,2,3] рассматривается распространение вязкоупругих волн в протяженных пластинках и слоях переменной толщины. В этих работах установлено, что роль границы в формировании структуры волнового поля, как спектр собственных частот и собственных форм, раскрывается в ряд к простым задачам, а изменение границы последовательно сопровождается возрастающими трудностями. Также рассматриваются возникновения локальных особенностей в волновых полях. В данной работе в отличие от упомянутых рассматривается

распространение волн по оси  $z$  в бесконечном вязкоупругом цилиндре с радиальной трещиной, который является клином при некотором углом  $\varphi$

### Постановка задачи и методы решения

Основные уравнения движения деформируемого цилиндра (с радиусом  $R$ ) с радиальной трещиной, который при  $\varphi < 180^\circ$  случае описывает клин. Они задаются с тремя группами соотношений. Система уравнений движения клина в цилиндрической системе координат  $(r, \varphi, z)$  принимает вид

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial u_r}{\partial t^2} &= \frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + \frac{\sigma_{rr} - \sigma_{r\varphi}}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{r\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial z}; \\ \rho \frac{\partial^2 u_\varphi}{\partial t^2} &= \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{\varphi\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{2\sigma_{r\varphi}}{r} + \frac{\partial \sigma_{r\varphi}}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_{z\varphi}}{\partial z}, \quad (1) \\ \rho \frac{\partial^2 u_z}{\partial t^2} &= \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial r} + \frac{\sigma_{zz}}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{z\varphi}}{\partial \varphi}. \end{aligned}$$

Здесь

$$\varepsilon_{rr} = \frac{\partial u_r}{\partial r}; \quad \varepsilon_{zz} = \frac{\partial u_z}{\partial z}; \quad \varepsilon_{\varphi\varphi} = \frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \varphi} + \frac{u_r}{r}; \quad (2)$$

$$\varepsilon_{r\varphi} = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \varphi} + \frac{\partial u_\varphi}{\partial r} - \frac{u_\varphi}{r} \right); \quad \varepsilon_{rz} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{\partial u_r}{\partial z} \right);$$

$$\varepsilon_{\varphi z} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_\varphi}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \varphi} \right);$$

$$\sigma_{rr} = \tilde{\lambda} \left( \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{u_r}{r} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) + 2\tilde{\mu} \frac{\partial u_r}{\partial r};$$

$$\sigma_{r\varphi} = 2\tilde{\mu}\varepsilon_{r\varphi} = \tilde{\mu} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \varphi} + \frac{\partial u_\varphi}{\partial r} - \frac{u_\varphi}{r} \right); \quad \sigma_{rz} = 2\tilde{\mu}\varepsilon_{rz} = \tilde{\mu} \left( \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{\partial u_r}{\partial z} \right); \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\varphi\varphi} &= \tilde{\lambda} \left( \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{u_r}{r} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) + 2\tilde{\mu} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{u_r}{r} \right); \\ \sigma_{\varphi z} &= \tilde{\mu} \left( \frac{\partial u_\varphi}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \varphi} \right); \\ \sigma_{zz} &= \tilde{\lambda} \left( \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_\varphi}{\partial r} + \frac{u_r}{r} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) + 2\tilde{\mu} \frac{\partial u_z}{\partial z}, \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} \tilde{\lambda} f(t) &= \lambda_0 \left[ f(t) - \int_0^t R_\lambda(t-\tau) f(\tau) d\tau \right], \\ \tilde{\mu} f(t) &= \mu_0 \left[ f(t) - \int_0^t R_\mu(t-\tau) f(\tau) d\tau \right]; \end{aligned} \tag{4}$$

$f(t)$  - некоторая функция;  $\rho$  - плотности материалов,  $R_\mu(t-\tau)$  и  $R_\lambda(t-\tau)$  -ядро релаксации,  $\lambda_0, \mu_0$  - мгновенные модули упругости вязкоупругого материала,  $\vec{u}(u_r, u_\varphi, u_z)$  -вектор смещения, который зависит от,  $\sigma_{rr}, \sigma_{r\varphi}, \sigma_{rz}, \sigma_{\varphi\varphi}, \sigma_{\varphi z}, \sigma_{zz}$  - соответственно компоненты тензора напряжений;  $\mathcal{E}_{rr}, \mathcal{E}_{r\varphi}, \mathcal{E}_{rz}, \mathcal{E}_{\varphi\varphi}, \mathcal{E}_{\varphi z}, \mathcal{E}_{zz}$  -соответственно компоненты тензора деформаций. Соотношений (4) после применение метода замораживания [4] принимает следующий вид:

$$\bar{\lambda} f(t) = \lambda [1 - \Gamma^C(\omega_R) - i\Gamma^S(\omega_R)] f(t), \quad \bar{\mu} f(t) = \mu_m [1 - \Gamma_\mu^C(\omega_R) - i\Gamma_\mu^S(\omega_R)] f(t),$$

$$\text{где } \Gamma_\lambda^C(\omega_R) = \int_x^\infty R_\lambda(\tau) \cos \omega_R \tau d\tau, \Gamma_\lambda^S(\omega_R) = \int_0^\infty R_\lambda(\tau) \sin \omega_R \tau d\tau,$$

$$\Gamma_\mu^C(\omega_R) = \int_0^\infty R_\mu(\tau) \cos \omega_R \tau d\tau,$$

$$\Gamma_\mu^S(\omega_R) = \int_0^\infty R_\mu(\tau) \sin \omega_R \tau d\tau \text{ -соответственно, коси-}$$

нус и синус образы Фурье;  $\omega_R$  -действительная часть комплексной частоты

( $\omega = \omega_R + i\omega_I$ );  $\rho$  -плотность;  $R_\lambda(t)$  и  $R_\mu(t)$  соответственно ядра релаксации материала. Соотношения (1), (2), (3) после тождественных алгебраических преобразований приводятся к системе шести дифференциальных уравнений с комплексными коэффициентами, разрешенных относительно первой производной по радиальной координате

$$\begin{cases} \frac{\partial u_r}{\partial r} = \frac{1}{K} \sigma_{rr} - \frac{\bar{\lambda}}{K} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{u_r}{r} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right); \\ \frac{\partial u_\varphi}{\partial r} = \frac{1}{\mu} \sigma_{r\varphi} - \frac{1}{r} \left( \frac{\partial u_r}{\partial \varphi} - u_\varphi \right); \\ \frac{\partial u_z}{\partial r} = \frac{1}{\mu} \sigma_{rz} - \frac{\partial u_r}{\partial z}; \\ \frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} = \rho \frac{\partial^2 u_r}{\partial t^2} - \frac{\tilde{A}}{r} - \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{r\varphi}}{\partial \varphi} - \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial z}; \\ \frac{\partial \sigma_{r\varphi}}{\partial r} = \rho \frac{\partial^2 u_\varphi}{\partial t^2} - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \varphi} [\sigma_{rr} - \tilde{A}] - \frac{2\sigma_{r\varphi}}{r} - \frac{\partial}{\partial z} \tilde{B}; \\ \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial r} = \rho \frac{\partial^2 u_z}{\partial t^2} - \frac{\partial}{\partial z} \left[ \sigma_{rr} - 2\bar{\mu} \left( \frac{\partial u_r}{\partial r} - \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \right] - \frac{\sigma_{rz}}{r} - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \varphi} \tilde{B}; \end{cases} \tag{5}$$

где введены обозначения

$$\tilde{A} = 2\bar{\mu} \left[ \frac{\partial u_r}{\partial r} - \frac{1}{r} \left( \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} + u_r \right) \right]; \quad \tilde{B} = \bar{\mu} \left( \frac{\partial u_\varphi}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \varphi} \right).$$

Краевые условия задаем в виде:

$$r = r_0 \rightarrow 0 \text{ и } R: \sigma_{rz} = \sigma_{rr} = \sigma_{r\varphi} = 0$$

$$\varphi = -\frac{\varphi_0}{2}, \frac{\varphi_0}{2}; \sigma_{\varphi\varphi} = \sigma_{\varphi r} = \sigma_{\varphi z} = 0 \quad (6)$$

Условия периодичности позволяют исключить зависимость основных неизвестных от времени и осевой координаты  $z$  с помощью следующей замены переменных:

$$u_r = w(r) \cos \frac{\varphi}{2} e^{ik(z-ct)}; \quad u_\varphi = v(r) \sin \frac{\varphi}{2} e^{ik(z-ct)}; \quad u_z = u(r) \cos \frac{\varphi}{2} e^{ik(z-ct)}; \\ \sigma_{rr} = \sigma(r) \cos \frac{\varphi}{2} e^{ik(z-ct)}; \quad \sigma_{r\varphi} = \tau_\varphi(r) \sin \frac{\varphi}{2} e^{ik(z-ct)}; \quad \sigma_{rz} = \tau_z(r) \cos \frac{\varphi}{2} e^{ik(z-ct)}, \quad (7)$$

где  $W(r), v(r), u(r), \sigma(r), \tau_\varphi(r), \tau_z(r)$  - амплитуды колебаний, которые являются функцией радиальной координаты;  $k$  - волновое число;  $c = C_R + iC_I$  - комплексная фазовая скорость;  $\omega = \omega_R + i\omega_I$  - комплексная частота.

При условии (6) разделение переменных  $r$  и  $\varphi$ , невозможно. С учетом (7) система уравнений (5) принимает вид:

$$\begin{cases} w' = \frac{\sigma}{K} - \frac{\bar{\lambda}}{K} \left( ku + \frac{1}{r} \left( w + \frac{\partial v}{\partial \varphi} \right) \right) \\ v' = \frac{\tau_\varphi}{\mu} + \frac{1}{r} \left( v - \frac{\partial w}{\partial \varphi} \right) \\ u' = \frac{\tau_z}{\mu} + kw \\ \sigma' = -\omega^2 \rho w + \frac{1}{r} \left( A - \frac{\partial \tau_\varphi}{\partial \varphi} \right) - k\tau_z \\ \tau_\varphi' = -\omega^2 \rho v - \frac{1}{r} \left( \frac{\partial(A + \sigma)}{\partial \varphi} + 2\tau_\varphi \right) - kB \\ \tau_z' = -\omega^2 \rho u - \frac{1}{r} \left( \frac{\partial B}{\partial \varphi} + \tau_z \right) + k(\sigma + 2\mu(ku - w')) \end{cases} \quad (8)$$

где  $A = 2\bar{\mu} \left( \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial \varphi} + w \right) - w' \right)$   $B = \bar{\mu} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \varphi} - kv \right)$

Аналогично преобразуются краевые условия (6)

$$r = 0, R: \sigma = \tau_\varphi = \tau_z = 0. \quad (9)$$

Таким образом, сформулировано спектральная краевая задача (8), (9), описывающая распространение гармонических волн в бесконечном вязкоупругом клине с произвольным углом вершины.

В качестве примера вязкоупругого материала примем трех параметрическое ядро релаксации

$$R_\lambda(t) = R_\mu(t) = Ae^{-\beta t} / t^{1-\alpha}, \text{ обладающее слабой сингулярностью}$$

Краевая задача для системы уравнений в частотных производных (8), дифференциальных уравнений с помощью метода прямых, что позволит использовать в решении программный аппарат метода ортогональной прогонки [5]. Согласно методу прямых прямоугольная область определения функции основных неизвестных покрывается прямыми, параллельными оси  $r$  и равномерно отстоящими друг от друга.

Решение ищется только на этих прямых, а производная по направлению  $\varphi$ , заменяется приближенными конечными разностями. Используемые аппроксимирующие формулы второго порядка для первой и второй производной имеют вид:

$$y_{i,\varphi} \cong \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta} \cong \frac{-3y_i + 4y_{i+1} - y_{i+2}}{2\Delta} \cong \frac{3y_i - 4y_{i-1} + y_{i-2}}{2\Delta}$$

$$y''_{i,\varphi} \cong \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta^2} \tag{10}$$

где  $i$  изменяется от 0 до  $N + 1$  ( $i = 0, N + 1$ ),  $y_i$  - проекция неизвестной функции на прямую с номером  $i$ ;  $\Delta$  - шаг разбиения по координате  $\varphi$

В результате дискретизации вектор основных неизвестных общей размерности  $6N$  может быть записан в виде:

$$Y = (\{w_i\}, \{v_i\}, \{u_i\}, \{\sigma_{ri}\}, \{\tau_{\varphi i}\}, \{\tau_{zi}\})^T \quad i = \overline{1, N} \tag{11}$$

Центральные разности (10), (11) используются для внутренних прямых ( $1 < i < N$ ), левая и правая разности (10), (11) позволяют учесть краевые условия по  $\varphi$ . В первом случае производная по  $\varphi$  в правых частях системы уравнений (8) выражается по формулам:

$$\begin{aligned} & 1 < i < N \\ & w_{i,\varphi} = (w_{i+1} - w_{i-1}) / 2\Delta \\ & u_{i,\varphi} = (u_{i+1} - u_{i-1}) / 2\Delta \\ & v_{i,\varphi} = (v_{i+1} - v_{i-1}) / 2\Delta \tag{12} \\ & \tau_{\varphi i,\varphi} = (\tau_{\varphi(i+1)} - \tau_{\varphi(i-1)}) / 2\Delta \\ & \sigma_{\varphi i,\varphi} = a(\sigma_{i+1} - \sigma_{i-1}) / 2\Delta + \frac{b}{r} [(v_{i+1} - 2v_i + v_{i-1}) / \Delta^2 + w_{i,\varphi}] + ck u_{i,\varphi} \\ & B_i = (u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}) / \Delta^2 / k - kv_{i,\varphi} \end{aligned}$$

Краевые условия при  $\varphi = -\frac{\varphi_0}{2}$  учитываются в уравнениях, соответствующих прямым  $i = I$ .

Таким образом, исходная спектральная задача (8), (9) с помощью дискретизации координаты  $\varphi$  по методу прямых сведена к канонической задаче (11). Для решения этой задачи применим метод ортогональной прогонки.

**Численные результаты**

Безразмерные величины в постановке задачи выбраны таким образом, что скорость сдвига  $C_s$ , плотность  $\rho$  и внешний радиус  $R$  имеют единичные значения. А также  $A = 0,048$ ;  $\beta = 0,05$ ;  $\alpha = 0,1$ . Для численной реализации задачи использовано программное средство MAPLE 9.5.

В таблице I приводятся ( $R_\lambda(t) = R_\mu(t) = 0$ ) предельные значения фазовой скорости первой кромочной моды в зависимости от угла клина в вершине (в пересчете на толщину клина в основании  $h_2$ ) (колонка 1), найденные для материала с коэффициентом Пуассона  $\nu = 0,25$  по теории пластинок Кирхгофа - Лява (колонка 3), Тимошенко - (колонка 4). В рамках изложенной в этой работе (по методике расчета трехмерного клина) приведены (колонки 5 - 6) и по формуле  $C_0 = C_R \sin(m\varphi)$  [2],  $m = 1, 2, \dots, m\varphi < 90^\circ$  (колонка 7). К колонке 5 соответствует вариант расчета с тремя внутренними прямыми ( $N = 3$ ) и краевыми условиями (9), колонка 6 соответствует краевым условиям:

$$\varphi = -\frac{\varphi_0}{2}; \sigma_{\varphi\varphi} = \sigma_{\varphi r} = \sigma_{\varphi z} = 0; \varphi = 0; u_r = u_z = \sigma_{\varphi\varphi} = 0$$

при том же количестве прямых. В соответствии с численными результатам, и приведенными в таблице 1, варианты расчета по методам Кирхгофа - Лява, Тимошенко и трехмерной теории согласуются между

собой в пределах 7% для углов клина с толщиной в основании  $h_2$ , не превышающей 0,5 (угол клина  $\varphi_0 = 28^\circ$ ).

Таблица 1

## Значения фазовой скорости первой кромочной моды в зависимости от угла клина

$h_2$	$\varphi_0$	по методу Кирхгофа – Лява	по методу Тимошенко	по методу расчета трехмерного клина (1)	по методу расчета трехмерного клина (2)	по работе [2]
0,2	$11^\circ$	0,2	0,196	-	-	0,182
0,3	$17^\circ$	0,3	0,286	0,308	0,298	0,276
0,5	$28^\circ$	0,5	0,442	0,475	0,462	0,433
0,7	$38^\circ$	0,7	0,563	0,605	0,592	0,574
1	$53^\circ$	1	0,691	0,741	0,729	0,736
2	$90^\circ$	2	0,864	0,908	-	0,92

## Заклучение

Таким образом, в отличие от волноводов с прямоугольным сечением в клиновидных волноводах с достаточно малым углом клина при анализе дисперсионных зависимостей первой моды допустимо использовать теорию пластинок Кирхгофа – Лява. Установленный факт объясняется явлением локализации формы колебаний вблизи острого угла клина, описанный в [3].

На основе полученных результатов сделаны следующие выводы:

- результаты расчета предельной реальной части скорости ( $c = C_R$ ) распространения первой моды клиновидном волноводе по теории пластинок Кирхгофа – Лява [2] и по динамической теории упругости отличается не более, чем на 6% для углов вершины клина не превосходящих  $28^\circ$ . При  $28^\circ < \varphi < 90^\circ$  результаты расчетов отличается до 20 %.
- учет вязкоупругих свойств материала клина увеличивает реальную часть скорости распространения волн на 10-15 %, а также позволяет оценить демпфирующие способности системы в целом.

Таким образом, при малых углах клина допустимо применение упрощенной теории Кирхгофа – Лява и Тимошенко во всем волновом диапазоне.

## Список литературы

1. И.И. Сафаров, З.Ф.Джумаев, З.И.Болтаев. Гармонические волны в бесконечном цилиндре с радиальной трещиной с учетом демпфирующей способности материала. Проблемы механики. 2011. с.20-25.
2. И.И. Сафаров, З.И.Болтаев. Распространение гармонических волн в пластинке переменной толщины. Изв. высших учебных заведений. Поволжский регион. Серия: физ. –мат. Наук, №4, 2011 с. 31-39.
3. И.И. Сафаров, М.Х. Тешаев, З.И. Болтаев. Математическое моделирование волнового процесса в механическом волноводе с учетом внутреннего трения. Германия. LAP. 2013. 243с.
4. Колтунов М.А. Ползучесть и релаксация. – М.: Высшая школа, 1976.- 276с.
5. Годунов С.К. О численных решениях краевых задач для систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений. – Успехи математических наук, 1061, Т.16, вып. 3, 171-174с.

УДК 539.3:534.2

Истүлов Н.А.<sup>1</sup>; Сейтханова А. К.<sup>2</sup>; Жуспекова Н.Ж.<sup>3</sup>; Оспанова Ж.Д.<sup>4</sup>

## О МАТРИЧНОМ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕРМОУПРУГИХ ВОЛН В АНИЗОТРОПНЫХ СРЕДАХ

<sup>1</sup>Канд. ф.-м.наук, проф. кафедры Физики и приборостроения, Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова, г. Павлодар; <sup>2</sup>Канд. ф.-м.наук, ст. преп. департамента Энергетики и металлургии, Инновационного Евразийского Университета, г. Павлодар

<sup>3</sup>ст. преп. кафедры Физики и приборостроения, Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова, г. Павлодар; <sup>4</sup>преп. кафедры Физики и приборостроения, Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова, г. Павлодар

## ABOUT MATRIX SOLVING OF PROPAGATION OF THERMOELASTICS WAVES IN ANISOTROPIC MEDIUMS

Ispulov Nurlybek, Candidate of Physical & mathematical Sciens, professor of department of Physics and instrument-making, S.Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, Kazakhstan

Seithanova Ainur, Candidate of Physical & mathematical Sciens, senior lecture of department of Energy and metallurgy, Innovative Eurasian University, Pavlodar, Kazakhstan

Zhuspekova Nurgul, senior lecture of department of Physics and instrument-making, S.Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, Kazakhstan

Ospanova Zhulduz, lecture of department of Physics and instrument-making, S.Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, Kazakhstan

## АННОТАЦИЯ

Исследование закономерностей волновых процессов в упругих средах с термомеханическим эффектом связано с необходимостью решения теоретических и прикладных задач геофизики, сейсмологии, механики композитных материалов и т.д. Связанные уравнения термоупругости отличаются сложностью и обилием физико-механических параметров. Являясь разделом механики деформируемого твердого тела, теория термоупругости, опираясь на использование определенных физических свойств естественных кристаллов и керамик искусственного происхождения, изучает механику связанных тепловых и механических полей.

В рамках этого направления, опираясь на использование определенных физико-механических свойств анизотропных средах, изучаются связанные тепловые и механические поля.

## ABSTRACT

The urgency of research of laws of wave processes in elastic environments with thermomechanical effect is connected with necessity of solving theoretical and applied problems of geophysics, seismology, mechanics of composite materials etc. Connected equations of movement and heat conductivity equations differ in complexity and abundance of physical-mechanical parameters. In this connection the section of mechanics of a deformable firm body named thermoelasticity intensively develops.

Within the framework of this direction, leaning against the use of certain physical-mechanical properties anisotropic environments, the constrained thermal and mechanical fields are studied.

## 1. Введение

В настоящее время широко известна эффективность матричных методов при исследовании волновых процессов в упругих средах.

Впервые матричный метод был применен Thomson W. T. [4] для численного исследования волнового поля при отражении волн от системы однородных слоев, заключенных между жидкими полупространствами. При этом матричное уравнение, полученное для границ однородных слоев, Томсон обобщил для пачки слоев. В дальнейшем Haskell N. A. применил матричный метод для численного изучения закономерностей распространения упругих поверхностных волн в кристаллах [5].

Матричный метод при исследовании волновых процессов в анизотропных средах в основном применялся при изучении и численном анализе уравнений дисперсии волн, для численного решения высокосимметричных анизотропных средах, определения особых направлений.

С матричным методом непосредственно связаны и другие подходы, которое проводилось Л.М. Бреховских [6] и Kennet B.L.N. [7].

Для анизотропных сред общего вида матричный метод впервые использовался С. Крэмпином, который описывал упомянутые среды в трехмерном случае с помощью матриц  $6 \times 6$ . Этот подход в двумерном случае приводит к матрицам  $4 \times 4$ , аналогичным матрицам Томсона-Хаскелла.

В исследованиях волновых процессов в слоисто-однородных и кусочно-непрерывных моделях сред, численные методы не связанные с матричными методами, например, методика расчета спектров и сейсмограмм, предложенная А.Л. Левшиным [8, 9]. Она основана на применении спектральной теории дифференциальных операторов и одном из вариантов метода прогонки.

Достаточно широко матричный метод применяется при исследовании распространения волн в периодических структурах при построении уравнений дисперсии, определении усредненных характеристик и уравнений индикатрис.

Проблема построения и изучение структуры матрицантов в работах не ставилась. Отдельные элементы симметрии установлены для матриц пропагаторов четвертого порядка в работах Woodhouse I. [10], Kennet B.L.N. [11]. Однако эти элементы симметрии были установлены исходя из законов сохранения и не привели в дальнейшем к изучению структуры фундаментальных решений.

**Метод матрицанта.** В настоящее время решение широкого круга теоретических и прикладных вопросов динамики сплошных сред требует более полного учета анизотропии и неоднородности физико-механических свойств. Главной особенностью анализа волновых процессов в анизотропных средах является принципиальная не применимость в этих задачах физических представлений и математического аппарата, разработанного для изотропных

сред. Это связано с невозможностью разделения волнового поля на прямые и обратные волны. Другой существенной трудностью является обилие физико-механических параметров.

Методом матрицанта рассмотрены задачи распространения волн [2,12, 13] в упругих, термоупругих анизотропных средах, электромагнитных, электроупругих, пьезоупругих волн в анизотропных диэлектриках и антиферромагнетиках [14 - 16].

Основным, принципиальным достоинством метода матрицанта является единообразие описания волновых процессов при наличии одного и нескольких физических эффектов: упругий, термоупругий, магнитоупругий, пьезоэлектрический и магнитоэлектрический, пьезомагнитный и магнитоэлектрический эффекты.

Таким образом, развитие методов исследования и формирование представлений о поведении волн в анизотропных средах следует считать одной из первоочередных и актуальных задач механики деформируемого твердого тела.

**2. Построение системы дифференциальных уравнений 1-го порядка, описывающей распространение термоупругих волн в анизотропной среде**

Распространение термоупругих волн в анизотропных средах описывается уравнениями движения, решаемых совместно с уравнением теплопроводности Фурье и уравнением притока тепла, которые имеют вид [1]:

$$\sigma_{ij,j} = \rho \ddot{U}_i \quad (1) \quad \lambda_{ij} \frac{\partial \theta}{\partial x_j} = -q_i \quad (2)$$

$$\frac{\partial q_i}{\partial x_i} = -i\omega \beta_{ij} \varepsilon_{ij} - i\omega \frac{c_\varepsilon}{T_0} \theta \quad (3)$$

где  $\sigma_{ij}$  - тензор напряжения,  $\rho$  - плотность среды,  $\lambda_{ij}$  - тензор теплопроводности,  $q_i$  - вектор притока тепла,  $\omega$  - круговая частота,  $\beta_{ij}$  - термомеханические постоянные  $\beta_{ij} = \beta_{ji}$ ,  $\varepsilon_{ij}$  - тензор деформации,  $c_\varepsilon$  - теплоемкость при постоянной деформации,  $\theta = T - T_0$  - приращение температуры по сравнению с температурой естественного состояния

$$T_0, \left| \frac{\theta}{T_0} \right| \ll 1 \text{ для малых деформаций.}$$

Физико-механические величины связаны соотношением Дюгамеля-Неймана:

$$\sigma_{ij} = c_{ijkl} \varepsilon_{kl} - \beta_{ij} \theta \quad (4)$$

Здесь  $c_{ij}$  - упругие параметры,  $c_{ijkl} = c_{jikl} = c_{ijlk} = c_{klij}$ ;  $\varepsilon_{kl}$  - тензор малых деформаций Коши.

Уравнения (1)-(4) определяют взаимосвязь механических напряжений и температуры как функции независимых переменных - теплового поля и деформации.

В компонентной форме соотношения (1), (2), (4) имеют вид:

*Уравнения движения сплошной среды:*

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{XX}}{\partial X} + \frac{\partial \sigma_{XY}}{\partial Y} + \frac{\partial \sigma_{XZ}}{\partial Z} &= \rho \frac{\partial^2 U_X}{\partial t^2} & \frac{\partial \sigma_{XY}}{\partial X} + \frac{\partial \sigma_{YY}}{\partial Y} + \frac{\partial \sigma_{YZ}}{\partial Z} &= \rho \frac{\partial^2 U_Y}{\partial t^2} \\ \frac{\partial \sigma_{XZ}}{\partial X} + \frac{\partial \sigma_{YZ}}{\partial Y} + \frac{\partial \sigma_{ZZ}}{\partial Z} &= \rho \frac{\partial^2 U_Z}{\partial t^2} \end{aligned} \quad (1)$$

*Уравнения теплопроводности Фурье:*

$$\left. \begin{aligned} -q_x &= \lambda_{11} \frac{\partial \theta}{\partial x} + \lambda_{12} \frac{\partial \theta}{\partial y} + \lambda_{13} \frac{\partial \theta}{\partial z} \\ -q_y &= \lambda_{12} \frac{\partial \theta}{\partial x} + \lambda_{22} \frac{\partial \theta}{\partial y} + \lambda_{23} \frac{\partial \theta}{\partial z} \\ -q_z &= \lambda_{13} \frac{\partial \theta}{\partial x} + \lambda_{23} \frac{\partial \theta}{\partial y} + \lambda_{33} \frac{\partial \theta}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Соотношения Дюгамеля-Неймана (для ромбической сингонии):

$$\begin{pmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & 0 & 0 & 0 \\ c_{12} & c_{22} & c_{23} & 0 & 0 & 0 \\ c_{13} & c_{23} & c_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \beta_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \beta_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \beta_{33} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \theta \quad (3)$$

Таким образом, соотношения (1)-(4) составляют замкнутую систему уравнений термоупругости, которая описывает распространение термоупругих волн.

На основе метода разделения переменных в случае гармонической зависимости от времени:

$$\left[ U_i(x, y, z, t); \sigma_{ij}(x, y, z, t); \theta; q_z \right] = \left[ U_i(z), \sigma_{ij}(z), \theta; q_z \right] e^{i(\omega t - mx - ny)} \quad (5)$$

Система уравнений (1)-(4) приводится к системе дифференциальных уравнений 1-го порядка с переменными коэффициентами, описывающей распространение гармонических волн [2,3]:

$$\frac{d\vec{W}}{dz} = B\vec{W} \quad (6)$$

Здесь  $B = B[c_{ijkl}(z), \beta_{ij}(z), \omega, m, n]$  - матрица коэффициентов, элементы которой содержат в себе параметры среды, в которой распространяются термоупругие волны;  $m, n$ -компоненты волнового вектора  $\vec{K}$ .

Вектор  $\vec{W}$  имеет вид:

$$\vec{W}(x, y, z, t) = [u_z(z), \sigma_{zz}, u_x(z), \sigma_{zx}, u_y(z), \sigma_{yz}, \theta, q_z]^t \exp(i\omega t - imx - iny) \quad (7)$$

Символ  $t$  означает операцию транспонирования вектора - строки в вектор - столбец.

Неоднородность среды предполагается вдоль оси  $Z$ . При построении матрицы коэффициентов  $B$  используется представление решения в виде (5), из системы уравнений (1)-(4) выделяются производные по  $Z$  и исключаются компоненты тензора напряжения не входящие в граничные условия. Множитель  $\exp(i\omega t - imx - iny)$  всюду опущен.

Система дифференциальных уравнений 1-го порядка (6) для анизотропной среды ромбической сингонии в явном виде имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{dU_z}{dZ} &= \frac{1}{c_{33}} \sigma_{zz} + \frac{c_{13}}{c_{33}} imU_x + \frac{c_{23}}{c_{33}} inU_y + \frac{\beta_{33}}{c_{33}} \theta \\ \frac{d\sigma_{zz}}{dZ} &= -\rho\omega^2 U_z + im\sigma_{zx} + in\sigma_{yz} \\ \frac{dU_x}{dZ} &= \frac{1}{c_{55}} \sigma_{zx} + imU_z \\ \frac{d\sigma_{zx}}{dZ} &= im \frac{c_{13}}{c_{33}} \sigma_{zz} + \left[ -\rho\omega^2 + m^2 \left( c_{11} - \frac{c_{13}^2}{c_{33}} \right) + c_{66} n^2 \right] U_x + m n \left( c_{12} + c_{66} - \frac{c_{13}c_{23}}{c_{33}} \right) U_y + \\ &+ \left( \frac{c_{13}}{c_{33}} \beta_{33} - \beta_{11} \right) im \theta \\ \frac{dU_y}{dZ} &= \frac{1}{c_{44}} \sigma_{yz} + inU_z \end{aligned} \quad (6)$$

$$\frac{d\sigma_{yz}}{dZ} = in \frac{c_{23}}{c_{33}} \sigma_{zz} + mn \left[ c_{12} + c_{66} - \frac{c_{13}c_{23}}{c_{33}} \right] U_x + \left( -\rho\omega^2 + m^2c_{66} - \left( c_{22} - \frac{c_{23}^2}{c_{33}} \right) n^2 \right) U_y + \left( \frac{c_{23}}{c_{33}} \beta_{33} - \beta_{22} \right) in \theta$$

$$\frac{d\theta}{dZ} = -\frac{1}{\lambda_{33}} q_z$$

$$\frac{dq_z}{dZ} = -i\omega \frac{\beta_{33}}{c_{33}} \sigma_{zz} + \omega m \left( \frac{c_{13}}{c_{33}} \beta_{33} - \beta_{11} \right) U_x + \omega n \left( \frac{c_{23}}{c_{33}} \beta_{11} - \beta_{22} \right) U_y - i\omega \left( c_\epsilon + \frac{\beta_{33}^2}{c_{11}} \right) \theta$$

Аналогично построены системы дифференциальных уравнений, описывающие распространение термоупругих волн в анизотропных средах гексагональной и тетрагональной сингоний.

Структуры матрицы  $B$  и вектор – столбец граничных условий в объемном случае для ромбической, гексагональной и тетрагональной сингоний в случае оси симметрии второго порядка и неоднородности вдоль оси  $Z$ :

$$B = \begin{bmatrix} 0 & b_{12} & b_{13} & 0 & b_{15} & 0 & b_{17} & 0 \\ b_{21} & 0 & 0 & b_{24} & 0 & b_{26} & 0 & 0 \\ b_{24} & 0 & 0 & b_{34} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b_{13} & b_{43} & 0 & b_{45} & 0 & b_{47} & 0 \\ b_{26} & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{56} & 0 & 0 \\ 0 & b_{15} & b_{45} & 0 & b_{65} & 0 & b_{67} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{78} \\ 0 & -i\omega b_{17} & -i\omega b_{47} & 0 & -i\omega b_{67} & 0 & b_{87} & 0 \end{bmatrix}; \quad \vec{W} = \begin{pmatrix} u_z \\ \sigma_{zz} \\ u_x \\ \sigma_{xz} \\ u_y \\ \sigma_{yz} \\ \theta \\ q_z \end{pmatrix} \quad (7)$$

Из структуры матрицы коэффициентов (7) следует, что в пространственном случае упругие волны различной поляризации и тепловая волна взаимосвязаны.

Отличные от нуля элементы матрицы  $B$   $b_{13}, b_{24}$ , равные

$$b_{13} = \frac{c_{13}}{c_{33}} im; \quad b_{24} = im$$

определяют взаимную трансформацию продольной и поперечной  $X$  – поляризованной волн. Элементы  $b_{15}, b_{26}$  описывают взаимосвязь поперечной  $Y$ -поляризации с продольной волной. Отличный от нуля элемент  $b_{45}$  определяет взаимную трансформацию между волнами поперечной поляризации.

Отличие от нуля коэффициента  $b_{17}$ :

$$b_{17} = \frac{\beta_{33}}{c_{33}} \quad (\text{ромбическая сингония}) \text{ означает,}$$

что продольная волна распространяется с термоупругим эффектом.

Не нулевые элементы  $b_{47}$  и  $b_{67}$ :

$$b_{47} = \left( \frac{c_{13}}{c_{33}} \beta_{33} - \beta_{11} \right) im;$$

$$b_{67} = \left( \frac{c_{23}}{c_{33}} \beta_{33} - \beta_{22} \right) in$$

означают влияние на упругие волны поперечных поляризаций термоупругого эффекта. При этом  $b_{47}$  описывает влияние термоупругого эффекта на упругую поперечную волну  $X$ - поляризации, а  $b_{67}$  влияние термоупругого эффекта на поперечную волну  $Y$ - поляризации.

Аналогично, для термоупругих волн, распространяющихся в анизотропной среде кубической сингонии построена матрица коэффициентов в объемном случае и проведен анализ матриц коэффициентов.

Таким образом, в работе построена система дифференциальных уравнений 1-го порядка, описывающая распространение термоупругих волн в анизотропных средах ромбической сингонии, а знание структуры матрицы коэффициентов в этой системе позволяет определить связь между волнами различной поляризации, в данном случае определить связь упругих и тепловых волн, т.е. наличие

термоупругого эффекта. Аналогично получены структуры матриц коэффициентов при распространении термоупругих волн в анизотропных средах ромбической и гексагональной и кубической сингоний в плоскости XZ и YZ, определены типы волн и взаимная трансформация волн различной поляризации.

#### Список литературы:

1. Новацкий В. Теория упругости. М.: «Мир», 1986. – 556 с.
2. Тлеукунов С.К. Метод матрицанта. Павлодар, НИЦ ПГУ им. С. Торайгырова, 2004. – 148 с.
3. С.К. Тлеукунов, М.К. Кудерин, В.А. Козионов, Н.А. Испулов, Е.К. Баяубаев, А.К. Сейтханова. Динамические и термодинамические процессы в скальных грунтах и строительных конструкциях / Монография. Под ред. академика АЕН, д.ф.-м.н., профессора С.К. Тлеукунова. Павлодар, 2006.
4. Thomson W. T. Transmission of elastic waves through a stratified solid material. *ИИ Sound Vibr.* 1965, N2. – P. 210-226.
5. Haskell N. A. The dispersion of surface waves on multilayered media. // *Bul. Seism. Soc. Am.* 1953. – P. 17-34.
6. Бреховских Л.М. Гончаров В.В. Введение в механику сплошных сред. М.: «Наука», 1982. – 335 с.
7. Kennet B.L.N. Seismic waves propagation in stratified media. *Camvridge*, 1983. – P. 342-356.
8. Букчин Б.Г., Левшин А.Л., Ратников Л.И. О проявлении кажущейся анизотропии в неоднородных средах. Москва, 1984. – 116 с.
9. Левшин А.Л. Поверхностные и каналовые сейсмические волны. Москва, 1973. – 176 с.
10. Woodhouse I. Asymptotic results electrodynamic propagator in plane stratified earth models // *Geophys. I.R. Astr. Soc.*, 1978, Vol. 54. – P. 263-281.
11. Kennet B.L.N. Lg-Wave propagation in heterogeneous media // *Bul. Seismol. Soc. Fm.*, 1989, Vol 79, №3. – P. 431-438.
12. Ержанов Ж. С., Жубаев Н. Ж., Тлеукунов С. К. Сейсмические волны в неоднородной среде. Алматы: «Наука», 1985. – 176 с.
13. Тлеукунов С. К., Оспан А. Т. Изучение электромагнитных полей в анизотропных средах. Алматы: КазНПУ им. Абая, 2001. – 67 с.
14. Тлеукунов С.К., Испулов Н.А., Сейтханова А.К. О структуре матрицы коэффициентов термоупругих волн, распространяющихся в анизотропной среде тетрагональной сингонии класса 4 // *Вестник КазНУ. Серия Механика*, № 1. Алматы, 2005. – С. 125-128.
15. Тлеукунов С.К., Рахимова Ш.Н. Построение систем уравнений 1-го порядка для пьезоупругих волн в анизотропной среде ромбической сингонии класса 222 // *Материалы науч. конф. молодых ученых, студентов, школьников «II Сатпаевские чтения»*. Павлодар, 2002, Т.2, – С. 114-121.
16. Тлеукунов С.К., Альгожина А.А., Ботаева А.С. О взаимной трансформации электромагнитных и упругих волн в анизотропных антиферромагнетиках MnF<sub>2</sub>, CoF<sub>2</sub> магнитного класса D<sub>2k</sub>(D<sub>4k</sub>) // *Материалы междунар. науч. конф. “Первые Ержановские чтения”*. Павлодар, 2004.- Т.2. – С. 304-309.

*Петров Т.Г.*

#### «МЯГКАЯ» СИСТЕМА КООРДИНАТ В ПРАВИЛЬНЫХ СИМПЛЕКСАХ

*доктор геолого-минералогических н. профессор  
Санкт-Петербургского Университета г. Санкт-Петербург*

*“SOFT” SYSTEM OF COORDINATES IN THE CORRECT SIMPLEXES*

*Petrov Tomas G.*

*full doctor of geological-mineralogical n. professor of*

*St. Petersburg University*

*St. Petersburg, Russian Federation*

#### АННОТАЦИЯ

Цель статьи – описать язык-метод RHAT как систему координат областей в пространстве, ограниченного правильным симплексом. Здесь R – последовательность компонентов состава по снижению – имена секторов в симплексе, выделяемых гипермедианами; H – информационная энтропия Шеннона – энтропия смешения; A – анэнтропия – энтропия разделения; T – толерантность «энтропия очистки». Способ упорядочения координат позволяет получать алфавитную иерархическую периодическую систему составов. Диаграммы HA или HT предназначены для отображения случайных и упорядоченных совокупностей составов.

*Ключевые слова:* правильный симплекс; система координат области; энтропия информационная; энтропия разделения; анэнтропия; свёрхочистка: толерантность; информационный язык; гипермедиана.

#### ABSTRACT

*Purpose of this article is to describe language-method RHAT as a coordinate system of regions in space limited by regular simplex. Here  $R$  is a sequence of composition components by decrease – names of sectors in the simplex distinguished by hypermedians;  $H$  – Shannon information entropy – entropy of mixing;  $A$  – anentropy – entropy of separation;  $T$  – tolerance, "entropy of purification". The arrangement of coordinates allows obtaining an alphabetical hierarchical periodic system of compositions. Diagrams HA or HT are designed to display random and ordered sets of compositions.*

*Key words:* regular simplex; coordinate system of region; information entropy; entropy of separation; anentropy; ultrapurification; tolerance; information language; hypermedian.

#### Введение

Предпосылки возникновения метода, общие для естественных наук представлены в [9;10], кратко и, в основном, они касаются поликомпонентности объектов (ценозов, сообществ, смесей), неопределённости границ между этими объектами, неполноты сведений о них, трудностей классифицирования объектов, неопределённости их имен, трудностей выявления общего направления процессов эволюции составов при разнонаправленности изменений отдельных компонентов. Для снижения сложности решения подобных проблем был предложен информационный язык-метод, или рангово-энтропийный метод (далее – способ или метод) отображения составов RHAT. Здесь  $R$  – последовательность символов компонентов состава по снижению их содержаний;  $H$  – информационная энтропия К.Шеннона как энтропия смешения;  $A$  – анэнтропия как энтропия разделения;  $T$  – толерантность – как «энтропия очистки». Способ описан многократно [6; 9-13;29] и здесь будет изложен кратко. Подробно он представлен в [19].

Метод был предложен, конкретно, для свёртки химических составов горных пород и минералов, но в дальнейшем его полезность была показана при решении содержательных задач в различных областях знаний [4, 13, 15;17, 23; 24, 28].

Метод обычно излагался в понятиях алгебры, теории информации. Здесь, на элементарном уровне (доступном автору) представим его как *способ описания – координирования – кодирования области в пространстве, ограниченном правильным симплексом* с его равенством расстояний от центра до всех вершин, и между всеми вершинами. Из всех симплексов треугольник давно является священной коровой минералогов, петрографов и многих других геологов, в то же время ставший тупиком в представлении многокомпонентных систем на бумаге. Фоновое требование наглядности не позволяют выйти в объём и работать в нем, даже изображение содержимого тетраэдра – проблематично. Отображение 5-10-50-компонентного анализа без радикальной свёртки анализа невозможно, а, в то же время, химические анализы с 50 –ю элементами стали довольно обычными. С другой стороны, химических, минеральных, биовидовых, возрастных, лингвистических «анали-

зов» у активно работающих «естественников» и «гуманитариев» накапливается тысячи. Стоят проблемы привести их в порядок, выявить дубли, брак, увидеть материалы в целом (а не отдельные его компоненты, или отношения двух-трёх между собой), увидеть соотношения между составами, сгущения и разряжения, банальность и оригинальность отдельных анализов, выявить направленность изменений и длину пути эволюции составов, И, на фоне всего этого, обнаружить закономерность или запрет на некую уже сформировавшуюся гипотезу – всё это стоит трудов, затраченных на разработку метода и труда на ознакомление с ним.

*Под мягкой («soft») системой координат будем понимать описание положения области её форму и размеры, а не точки, как в жесткой («hard») системе.*

Цель статьи – обратить внимание на универсальный метод описания и систематизации составов систем RHAT, а также на задачи в области математики, зародившейся 4 века назад с первых работ Непера и нашедшей широчайшее применение с использованием логарифмов Клодом Шенноном при построении меры неопределённости результата испытания – информационной энтропии.

#### 1. Средства метода RHAT

Первая координата:  $R$  – ранговая формула состава – рейтинг – последовательность символов (или имён)  $n$  компонентов (выбранных из общего возможного в данной отрасли знания числа  $N$ ) по снижению их содержаний  $p$ , при  $\sum p_i = 1$ . Такой ряд (например, «кварц-полевой шпат-слюда», последовательность по снижению содержаний ведущих минералов горной породы – гранита) является именем сектора в правильном симплексе, имеющем три вершины при разбиении его медианами в треугольнике (Рис.1). Для четырехкомпонентного состава потребуется тетраэдр при разбиении медианными плоскостями. и далее – непредставимый правильный многогранник с медианными гиперплоскостями. В вершинах симплекса все  $p_i = 1$ , то есть здесь находятся абсолютно чистые компоненты (отсутствующие в природе, но об этом ниже). В центре симплекса  $p_1 = p_2 = p_3 = \dots = p_n = 1/n$ . В объёме симплекса с  $n$  вершинами количество секторов  $K = n!$  Элементарный пример именованная секторов приведён на рис.1

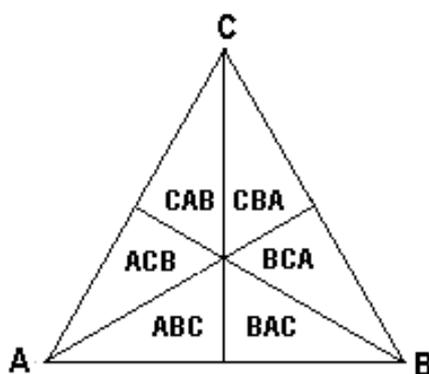


Рис. 1 Симплекс с именами секторов, выделенных медианами

Содержания первого компонента находятся в интервале  $1/n \div 1$ . В остальных рангах  $0 \div 1/n$ .

Вторая координата:  $H$  – информационная энтропия Шеннона с точностью до константы является аналогом термодинамической энтропии смешения [2] и мерой сложности состава системы. Расчет по формуле  $H = - \sum p_i \ln p_i$ . Для приведения к интервалу  $0 \div 1$  используем  $En = H / \ln n$ . Максимальное значение

вклада одного компонента в энтропию  $-p_i \ln p_i$  для логарифмов при любом основании реализуется при  $p = 0.368 \dots$ . В симплексе – треугольнике изолинии нормированной к 1 энтропии представлены на рис. 4. В согласии с видом изолиний энтропию можно рассматривать как обобщенное расстояние от вершин симплекса.

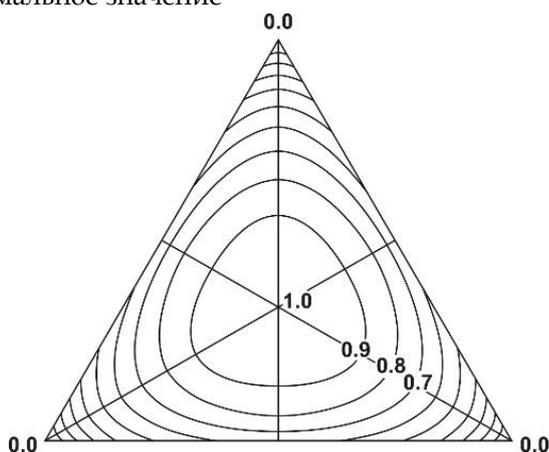


Рисунок 2. Изолинии энтропии, нормированной к интервалу  $0 \div 1$ .

Третья координата – анэнтропия [6, с.34; 9, с.17;] рассматривается как мера малости малых компонентов и рассчитывается по формуле  $A = -1/n * \sum \ln p_i - \ln n$ . Согласно формуле,  $A$  существует в интервале  $0 \div +\infty$ . Для приведения к интервалу  $0 \div 1$ , удобному для многих приложений диаграммному виду (в сочетании с энтропией),  $A$  реального состава делится на анэнтропию состава «аналитически идеально простейшей чистой» системы [9, с.18]. Это необходимо, так как нуль в содержании – отвечает логарифму минус бесконечности. За максимально чистый состав принимается состав, в котором  $p_1 = 1 - (n-1) * \delta$ ,  $p_2 = p_3 = \dots = p_n = \delta$ , где  $\delta$  содержания, равные половине чувствительности метода анализа. Это ухищрение диктуется «принципом всюдности» (как его называют, несколько усиливая позицию его автора) В.И.Вернадского [1. с.518-527 ], согласно которому в

любом макрообъекте присутствуют все элементы Периодической системы. Дополним: ухищрения также полезного (со своими  $\delta$ ) при рассмотрении составов любых реальных систем, будь то минеральные, национальные, возрастные и пр., в которые практически всегда не доопределяются самые малые содержания – с ущербом для смысла количественных оценок.

Анэнтропию можно считать энтропией разделения, так как многочисленные наблюдения за траекториями таких процессов показывают её возрастание [13, с.24].

Изолинии анэнтропии в правильном треугольнике показаны на рис.5. В согласии с их характером анэнтропию можно считать обобщенным расстоянием от центра симплекса до вершин.

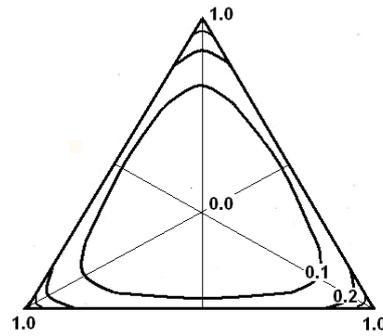


Рисунок 3. Изолинии энтропии, нормированной к интервалу 0-1.

Четвертая координата - толерантность -  $T$  [10, с.30;13, с.24], вкладом в которую является  $1/p$ , рассчитывается по формуле  $T = \ln[1/n \cdot \sum(1/p_i)] - \ln n$ . Изолинии нормированной толерантности не приводим, так как они прижаты к вершинам симплекса еще в большей степени, чем изолинии энтропии. Эта характеристика в наибольшей степени применима для

оценки степени близости состава к вершине симплекса, к состоянию идеальной чистоты состава.

С позиций теории информации величина толерантности это среднее время ожидания сигнала при их равномерном поступлении.

Вклады трех координат составов представлены на рис.6.

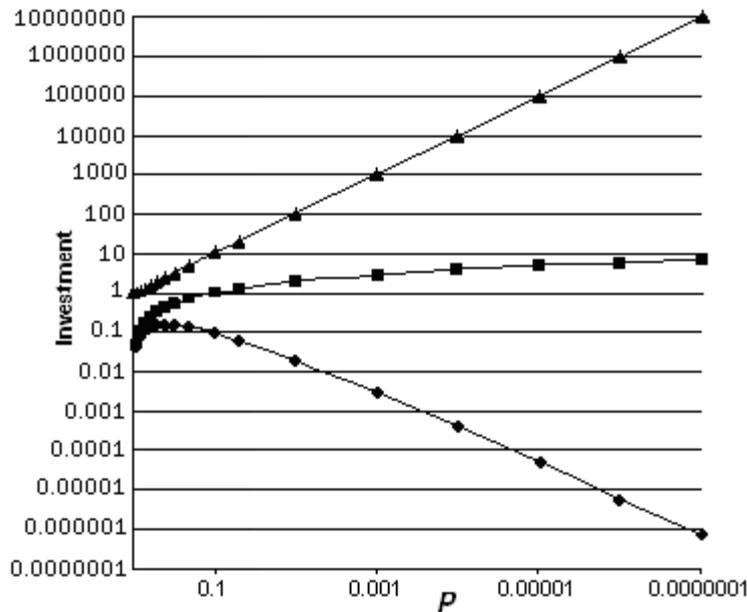


Рисунок 4. Вклады в энтропию  $\blacklozenge$ , энтропию -  $\blacksquare$ , толерантность -  $\blacktriangle$ .

Вклады в  $A$  и  $T$  функционально зависят от вклада в энтропию. Если принять вклад в энтропию ( $-p \ln p$ ) за первообразную функцию, то её первая производная по  $p$  минус единица будет вкладом в энтропию ( $-\ln p$ ), вклад в толерантность - второй производной по вкладу в энтропию и первой - по вкладу в энтропию ( $1/p$ ). Тем самым, как энтропия, так и толерантность являются естественными порождениями - последующими этапами развития идеологии, заложенной в информационной энтропии К.Шеннона, с переходом от одномерного представления данных к диаграммному.

Метод может рассматриваться как способ кодирования и как «мягкая» система координат в правильных симплексах, понимая под её «мягкостью» отсутствие точного решения обратной задачи при

количестве переменных, превышающих количество уравнений. Так, сорока-элементный анализ состава содержит 40 неизвестных, свёрнутых в 4 уравнения:  $H, A, T$  и  $\sum p_i = 1$ .

2. Систематизация - упорядочение координат составов

Координаты составов  $RHAT$  (с описаниями конкретных объектов) записываются в строку и располагаются в колонку, как показано в таблице 1. Для этого совокупность - последовательность координат  $RHAT$  принимается за слово, в котором использованы три алфавита. Один буквенный - для ранговых формул, играющих роль «корней» - смысловой нагрузки слова, и два числовых: для энтропии («суффикса») - по снижению значений  $H$  и для  $A$  и  $T$  - по

их возрастанию («окончаний»). Упорядочение производится по известному лингвистическому принципу, последовательно. Сначала упорядочиваются корни, затем суффиксы, и далее – окончания.

В качестве символов в ранговой формуле  $R$ , вообще, желательно использовать какие-либо «интенциональные» алфавиты. Под ними понимаются алфавиты, в которых существуют смысловые связи между соседними символами (сущностями), в отличие от «естественных» алфавитов, где таковая, либо вообще отсутствует, либо очень слаба [26]. Известно, что в словарях, использующих «естественные» алфавиты, рядом обычно стоят слова, и образуются группы, имеющие сходство в начертании, и – редко – в смысле (**кора, корма, коро́ва, корпус, корреспондент...**). В отличие от последних, при использовании наиболее известного интенционального алфавита при кодировании химических составов геологических объектов – Периодической системы элементов – в группах ранговых формул  $OSiAlH.. OSiAlNa... OSiAlK$  находятся разные, но родственные по химическому составу объекты. Они имеют общее название – «алюмосиликаты», некоторые из них представлены в табл.1. При увеличении длины ранговой формулы растёт определённость выделения части пространства, к которой принадлежит состав, и, наоборот, степень обобщения при её сокращении.

При равенстве  $R$  упорядочение координат составов производится по снижению  $H$ , - преимущественному направлению изменению энтропии при разделении [27]. (Под разделением понимается образование двух и более систем, различающихся по составу из одной. под смешением – противоположный процесс формирования одной относительно гомогенной системы из двух различающихся по составу.) При равенстве  $H$  – упорядочение координатных строк производится по обычно противоположному направлению изменений  $A$  и  $T$  – по их возрастанию.

В результате такого упорядочения возникает Линейная Иерархическая Периодическая Система Составов, в частности, химических – при упорядочении координат химических составов объектов [12]. В приводимой таблице 1, повторяемой из [12], приведена выборка кодов-координат из существующей Базы Данных химических составов, имеющей ок. 80 000 записей. Это ничтожно малая часть полной таблицы, если учитывать количество устойчивых элементов (88?) и в  $R$  учитывать  $n=10$  важнейших элементов. Горизонтальные линии в таблице – разделители, выявляющие иерархическую структуру системы. Знаки равенства означают, что  $p_n/p_{n+1} \leq 1.15$ , то есть указывают на близость содержаний соседних компонентов в ранговой формуле.

Таблица

Выборка из Базы данных «Химические составы природных объектов»

Ранговая формула	$E_n$	$A_n$	Объект
H He O C Ne N Mg= Si= Fe S	0,135	0,837	Солнце
H O C N Ca= P K= S Na Cl	0,428	0,434	тело человека
H O N Cl Si Li B= S C Ca	0,278	0,980	вода, гейзер, Камчатка
O C Ca Mg Fe Si P Al Mn K	0,561	0,210	карбонатит, Салланлатва
O Mg Si Fe Al Ca Na K= Cr Ti	0,542	0,301	Марс
O Mg Si Fe Al Ca Na Cr K Ti	0,511	0,305	Земля мантия+кора
O Si H Al C= Ca= Mg= Fe= K Na	0,578	0,166	глина четвертичная
O Si H= Al Fe K Mg C= Ca Ti	0,361	0,401	песчаники, Казахстан
O Si Na Mg Al= Ca Fe Mn W Ti	0,286	0,804	кварц, Забайкалье
O Si Mg Al Ca= Fe Cr Ti Mn Na	0,554	0,274	пироп Урал
O Si Mg Fe Al Ca Na Mn S K	0,567	0,193	метеорит Жмеринка
O Si Al Na K H Fe Ca Mg Ti	0,488	0,247	гранит, среднее из 2485 ан.
O Si Al Ca= Fe Mg Ti Na K Mn	0,552	0,236	базальт, Луна
O Si= Ca C H= Fe P F= K Al	0,617	0,138	карбонатит, Малави
O Ca= C Fe Mg P Si Al Sr Na	0,519	0,278	карбонатит, Ковдор
O Ca Fe P Mg Si Al Na Mn Ti	0,569	0,268	фоскорит, Ковдор
F Ca Ba= Ti Zr O Be= Al Bi Mn	0,281	0,962	флюорит, Забайкалье
S Fe As Sb Zn Pb Co= Ni Bi Se	0,282	0,967	пирит, Сибай
Cu Sn As Fe Sb Pb Ni= Ag Bi= Co	0,069	0,526	бронза, нож, Алексеевка

Такая последовательность как система, обладает следующими свойствами:

Универсальность – по отношению к возможному разнообразию химических составов, так как не существует химического состава (и другого), который было бы невозможно представить в виде  $RHA(T)$ ;

Линейность – не имеет разветвлений и потому предельно проста;

Алгоритмичность – при построении;

Открытость – для расширения списка компонентов;

Устойчивость, то есть система допускает изъятие и включение новых ранговых формул без изменения порядка остальных;

Исчислимость – максимальное количество ранговых формул  $U$  (от Universum) может быть определено как число перестановок без повторений из  $N$  возможных компонентов данного алфавита по  $n$  ( $n$  – длина ранговой формулы), то есть  $U=N!/(N-n)!$ . Для  $N=88$  и  $n=10$  получаем  $U= 5.1114E+127$ . В этот каталог помещается химическая Вселенная, видимо, с большинством пустых  $R$ -ячеек.

Полнота – для определенной длины алфавита и определенной длины ранговой формулы не существует и не может быть других ранговых формул сверх числа перестановок, определенного выше. Поэтому для данных  $N$  и  $n$  последовательность представляет собой Универсум существующих, возможных и невозможных составов данной области знания;

Иерархичность – упорядочение, как и в алфавитных словарях, сначала происходит по первому – высшему – рангу (первой букве). Затем, внутри ранговых формул с одинаковым первым рангом происходит упорядочение по второму, более низкому рангу (второй букве) и т.д. Это приводит к тому, что ранговая формула длиной  $n$  одновременно является упорядоченным перечнем всех более старших таксонов;

Периодичность – ранговые формулы близких по составу объектов располагаются группами, между которыми находятся иные, сильнее отличающиеся, так в табл.1 ранговые формулы  $OCCa...OCaC...$ , находящиеся в разных концах таблицы, относятся к однотипным породам – это разновидности карбонатов.

В расположении объектов в системе проявляется связь с порядком изменения некоторых свойств упорядочения объектов в исходном алфавите (здесь

в Периодической системе). Так, для химических составов, от начала классификации к ее концу статистически нарастают средние атомные массы объектов, их плотности и статистически снижается встречаемость в природе.

3. **Энтропийные диаграммы  $HA$  и  $HT$**

Значения всех трёх числовых координат  $H, A, T$  зависят от количества компонентов. Поэтому при желании иметь дело с анализами полными, сплошь и рядом имеющими разные  $n$ , их сравнение будет затруднено, или невозможно, или же это может быть использовано (но, при достаточно большом объёме данных) для выявления структуры информационного пространства. Конкретнее – визуализации разнообразия материалов по их детальности (длинам анализов), что четко проявилось на диаграмме  $HA$  возрастных распределений населения стран мира [14].

Для сопоставимости данных производится стандартизация длин  $R$  на некотором общем уровне и, после перенормировки сумм усеченных анализов к единице, расчет  $HAT$ . Для учета возможно более полной информации стандарт следует приближать к длине наиболее короткого анализа в выборке. При этом нужно иметь в виду, что чем короче анализ, тем больше шансов на потерю недоопределявшихся компонентов и включение в расчет меньших значений, чем были бы при более полном анализ, соответственно, тем выше может быть энтропия [19, с.68].

Поле допустимых значений  $EnAn$  для 10-компонентной системы показано на рис.5. Верхняя граница получена в результате процедуры смешения составов подробно описанной в [9, с.17]. Цифры около точек вдоль верхней кривой соответствуют количеству компонентов с равными содержаниями при том, что остальные (10 минус «цифра»), дополняющие анализ до десяти компонентов, имели содержания половин чувствительности метода анализа, принятых за 0.00005. (Указанная величина примерно соответствует чувствительности «мокрых» анализов, имевших до недавнего времени повсеместное распространение и не потерявших ценности с появлением новых технологий.) Нижняя кривая – отвечает условию:  $p_1 = 1 - (p_2+p_3+...+p_{10})$ , при этом:  $p_2=p_3=p_4+...+p_{10}$ .

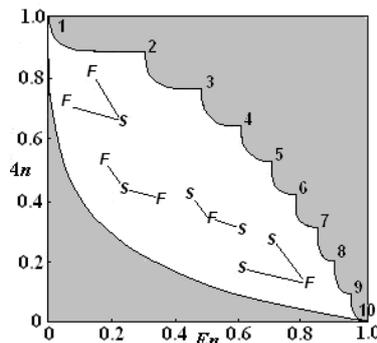


Рисунок 5. Границы поля  $EnAn$  и типичные направления эволюции составов при разделении и смешении (по-яснение в тексте).

На диаграмме (Рис 5) показаны типичные направления изменения составов при процессах разделения (две фигуры S-F слева) и смешения (две фигуры – справа), что выявлено при прослеживании траекторий эволюции составов многих десятков реальных процессов изменения составов горных пород и минералов. Обратим внимание на то, что процессы интеграции и дифференциации, как более общие по сравнению со смешением и разделением, были выделены Гербертом Спенсером как фундаментальные для всей природы. На диаграмме аббревиатуры S обозначают точки исходных составов (Start) и F (Final) – составы конечного продукта. Показанные соотношения направлений при смешении – объединении двух различающихся составов в один, и при разделении – образовании двух и более различающихся составов из одного – иллюстрируют теоремы Ю.В.Шурубора о преимущественных направлениях изменения энтропии при процессах разделения и смешения [27].

Процессы разделения смешения, отображаемые в симплексах, «тянут» точки составов к вершинам, к одной, если в составе существенно преобладает один компонент (самородный элемент, близкое к мононациональному сообщество), к двум, если остальные компоненты теряют значимость, подавляются (очистка каменной соли, воды), к трём, если очищается трехэлементное соединение (ректификация спирта) и так далее. Обратные движения – в направлении центра симплекса – преобладающие следствия смешения. Ни в центре симплекса, ни в его вершинах, не существуют реальные (по крайней мере, химические составы), так как для достижения этих точек требуется иметь несуществующие в природе и в лаборатории идеально чистые вещества. Всё происходит между этими двумя крайностями при циклической реализации разделений и смешений: В геологии, например, становление гранита – разделение, затем гидратация некоторых минералов – смешение, затем дезинтеграция породы с выносом ставших подвижными растворов и глин – разделение, попадание продуктов разрушения гранита в ручьи, почву – смешение и так далее – для каждого сохраняющегося элемента первичной системы – вечная смена участия в процессах смешения и разделения. В биоценозах на эти процессы накладываются рождение и гибель организмов, но возвратно-поступательное движение точки, отмечающее на диаграмме **НА** сезонные циклы, будет происходить монотонно до тех пор, пока экосистема не «заболеет», или начнет разрушаться. Описание диаграммы представлено в [9, 13] и наиболее подробно в [19]. Модель процесса разделения-смешения в качественном изложении представлена в [28].

#### 4. Обсуждение и нерешенные задачи.

Метод **RHAT** – универсальный метод описания составов, один из методов, наряду с методами главных компонент, кластерным анализом и другими, которые могут войти в обобщающую дисциплину «Составистика», позволяющую работать с содержаниями, интенсивностями, весами, значимостями составных частей любых сложных систем [8 с.271]. Метод, предоставляя широкий круг возможностей, варианты применений которого изложены в [11], там же перечислены три вида работ, а именно: с первично неупорядоченными аналитическими материалами, с базой данных и с материалами, упорядоченными в пространстве и времени.

Разработка метода, в основном происходила «вширь» - в направлении проверки возможностей и содержательности результатов при использовании метода в различных областях знаний, которых уже насчитывается около 20. В то же время, математическая сторона разработана явно недостаточно.

По данным, опубликованным в [5], и проведенными автором расчётам, известно, что разброс данных  $EnAn$  в средней части диаграммы составляет примерно  $\pm 0.005$  по обеим осям. В связи с этим представляет интерес вопрос: каковы минимальные и максимальные значения  $p$  для каждого ранга системы при данных  $En \pm 0.005$  и  $An \pm 0.005$ . Иными словами, каковы формы «тел содержаний  $R_i$ » в проекциях на поле  $EnAn$  и  $HT$  при возможном разбросе данных  $\pm \delta$ ?

Другой вопрос, весьма важный в практике исследования процессов эволюции составов. Известно, что все математически проведенные смешения составов дают дуги, выпуклые вниз вправо. В работе [3] был описан процесс формирования пегматитов, проходивший в два этапа: первый – магматический – с нормальным трендом разделения – снижение  $H$ , рост  $A$ . и второй – с трендом смешения – противоположным. Установить – может ли быть такая смена направлений в результате прохождения «однонаправленного» («монотонного») процесса, то есть без изменения знаков изменения содержаний, или, иначе: доказать, что траектории монотонных процессов не могут иметь минимума энтропии и максимума анэнтропии. Если таковая смена обнаружится на кривой **НА**, можно будет говорить о неоднаправленности процесса.

Предложенный в 1971, метод, можно сказать, залежался, он не был должным образом востребован в геологии, чему способствовало несколько причин, среди которых видимо, наиболее важные: а) нетрадиционные единицы измерения – принятые автором для универсальности подхода атомные доли – для химических составов (вместо оставшихся с 19

века оксидов, типа  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}\dots$ ), б) интегральность подхода к сложным составам при господствующем на диаграммах учете – 2-3 компонентов состава, в) не раз упоминавшаяся логарифмика. Весьма вероятно, также: г) недоверие к геологу-кристаллографу, посягнувшему на решение проблем, представлявшихся в 70-х годах просто неразрешимыми: единообразно упорядочить все химические и все минеральные составы, и положить на одну, имеющую генетические интерпретации, диаграмму космические объекты, горные породы, руды, воды и газы. С решением проблемы *содержательного* кодирования кристаллохимических формул минералов [15], в сочетании с R-словарём-каталогом химических составов минералов [16], открыта возможность создания единой структурно-химической классификации реальных минералов и на её базе – назревающего «RNA(T) словаря-каталога кристаллохимических составов минералов», а также возможность отображать и изучать эволюцию минерального мира на диаграммах, а не на одномерных последовательностях информационной энтропии.

Работа по методу и ряду других обеспечивается оригинальным ПК Petros3, позволяющим работать со 100 алфавитами, формировать базы данных, в том числе библиографическую, проводить расчеты коэффициентов корреляции и расстояний нескольких видов, свёртки больших объемов информации в виде «обобщенных ранговых формул» и многое другое [17].

#### Заключение

Автор будет считать свою задачу выполненной, если заинтересует изложенной тематикой хотя бы одного математика

#### Благодарности.

Автор благодарен своему многолетнему соратнику Н.И.Красновой за самоотверженные усилия по распространению метода, С.В.Мошкину за составление программы и выполнение бесконечных просьб о добавлении еще одного метод в программу, об объяснении как выполнить то-то и то-то, А.Г.Булаху, Ю.Л.Войтеховскому, и недавно ушедшему В.В.Гордиенко за глубокое понимание и высокие публичные оценки метода, С.В.Чебанову за постоянную поддержку и укрепление методологического фундамента метода, А.А.Андриянец-Буйко, В.А. Глебовицкому, В.Я. Васильеву, В.Н.Дечу, И.С.Седовой, П.Б.Сokolovu, О.И.Фарафоновой, В.В.Хаустову, А.В. Шуйскому, содействовавшим автору в его работе на пути становления и развития Метода и всем другим, которые сопротивлялись освоению метода, побуждая автора к более тщательной работе по его осознанию и описанию.

#### Список литературы

1. Вернадский В.И. О рассеянии химических элементов Избр. соч. Т.1. Изд.АН СССР.1954. – С. 517-527
2. Меллвин-Хьюз Э.А. Физическая химия. Мн. В 2 т. М. ИИЛ, 1962 – 1148 с.
3. Гордиенко В.В. Петров Т.Г. Исследование редкометалльных пегматитов с использованием языка RNA. // Записки ВМО.- Ч.110. – Вып.5 – 1981. – С.546-558.
4. Крамаренко С.С. Особенности использования энтропийно-информационного анализа для количественных признаков биологических объектов // Изв. Самар. Науч. центра РАН. – 2005
5. Кухаренко А.А., Ильинский Г.А., Иванова Т.Н. и др. Кларки Хибинского щелочного массива // Записки ВМО 1968. – Ч.97. Вып.2. – С.133-149
6. Петров Т.Г. Обоснование варианта общей классификации геохимических систем. // Вестник ЛГУ. N18. – 1971. – С.30-38
7. Петров Т.Г. Проблема разделения и смешения в неорганических системах.// В кн.: Геология. Ред. В.Т.Трофимов, Т.2. – МГУ. – 1995. – С.181-186.
8. Петров Т.Г. Язык-метод RNA для описания, систематизации и изучения изменения составов любой природы. //В кн.: Ценологические исследования. Ред. Б.И.Кудрин. Вып.1 Математическое описание ценозов и законы технетики. Абакан.: ЦСИ. – 1996. – С.256-273
9. Петров Т.Г. Информационный язык для описания составов многокомпонентных объектов. //Научно-техническая информация. Сер 2. – 2001. – №3. – С 8-18.
10. Петров Т.Г. Рангово-энтропийный подход к описанию составов геологических объектов и их изменений (на примере геологической ценологии). // Общая и прикладная ценология. 2007. – №5. – С.27-33
11. Петров Т.Г. Метод RNA как решение проблемы систематизации аналитических данных о вещественном составе геологических объектов. Отечественная геология. 2008. – №4. – С.98-105.
12. Петров Т.Г. Иерархическая периодическая система химических составов и ее связь с периодической системой элементов. // Вестник С.-Петербург. у-та Сер. 7. 2009. – Вып. 2. – С.21-28
13. Петров Т.Г. Графическое отображение процессов эволюции составов поликомпонентных объектов любой природы // НТИ. 2012. – сер 2 – №3 – С. 21–31. Англ изд Т. G. Petrov Graphic Representation of the Evolutionary Processes of the Compositions of Multicomponent Objects of Any Nature // Automatic Documentation and

- Mathematical Linguistics. 2012. – Vol. 46. – No. 2. – pp. 79–93. © Allerton Press, Inc., DOI: 10.3103/S0005105512020045
14. Петров Т.Г. Метод RHA для кодирования, систематизации и отображения изменений возрастных составов населения. // Сб., посв. 60-летию С.В.Чебанова (в печати)
  15. Петров Т.Г., Андриянец-Буйко А.А., Мошкин С. В. Двупараметрический алфавит для кодирования структурно-химической информации и ее систематизации (на примере турмалина)// НТИ. 2012. – сер. 2 – №2 – с. 15-23. Англ изд. T. G. Petrov, A. A. Andriyanets\_Buyko, and S. V. Moshkin. A Two\_Parameter Alphabet for Coding Structural-Chemical Information and its Systematization (Using the Example of Tourmaline).// Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. 2012. – Vol. 46 –.No. 1. – pp. 40–49. © Allerton Press, Inc., 2012. SpringerLink Online T. G. Petrov, A. A. Andriyanets\_Buyko, and S. V. Moshkin. Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2012. – DOI 10.3103/S0005105512010086
  16. Петров Т.Г., Краснова Н.И. R-словарь-каталог химических составов минералов. Мн. СПб, – «Наука». – 2010 –– 150с.
  17. Петров Т.Г., Н.И. Краснова RHA-кодирование минерального состава кристаллических горных пород и способ их систематизации. // Современные проблемы магматизма и метаморфизма. Мн. Т.2 – СПб – 2012. – С.120-123
  18. Петров Т.Г., Мошкин С.В. Метод RHA и его реализация в программном комплексе Petros-3 // Вычисления в геологии. 2011. – №1. – С. 50-53.
  19. Петров Т.Г., Фарафонова О.И. Информационно-компонентный анализ. Метод RHA. Учебное пособие. СПб. – 2005. – 168с.
  20. Петров Т.Г., Фарафонова О.И., Соколов П.Б. Информационно-энтропийные характеристики состава минералов и горных пород как отражение напряженности процесса кристаллизации. // Записки ВМО – 2003. – №2. – С.33-40.
  21. Хаустов В.В. Роль глубинной геодинамики в формировании гидrolитосферы (на примере Каспийско-Кавказского сегмента Альпийско-Гималайского подвижного пояса. Автореф. дисс. на соиск. ученой ст. доктора геол – мин.. н.. СПб – 2011 – 40с.
  22. Хаустов В.В. К проблеме формирования вод грязевых вулканов региона Южно-Каспийской впадины // Альманах Пространство и Время. Т. 1. – Вып. 1 – 2012.
  23. Чебанов С.В. Логические основания лингвистической типологии. Мн. Вильнюс. VLANI. 1996. – 92с.
  24. Чебанов С.В. Оптимальность и экстремальность в культуре, цифриада и закон Лотмана. // В кн. Техногенная самоорганизация и математический аппарат ценологических исследований. М ЦСИ. – вып 28. – 2005. – С.411–428
  25. Чебанов С.В. Динамика культурных форм. // В кн. Фундаментальные проблемы культурологии в 4 т. Культурная динамика т3. СПб. Алетейя.2008. – С184-197
  26. Чебанов С.В. Петров Т.Г. Интенциональность, интенциональные алфавиты, интенциональные слова и словари // В сб. Актуальные проблемы современной когнитивной науки. Иваново. – 2013. – С.239-266
  27. Шурубур Ю.В. Об одном свойстве меры сложности геохимических систем.// Доклады АН СССР. – 1972. – Т.205. – N 2. – С.453-456
  28. Tomas G. Petrov Separation-Mixing as a Model of Composition Evolution of any Nature. // J. Systemics, Cybernetics and Informatics V. 12. – N 1 – 2014. – pp. 76-81.
  29. Petrov Tomas G., Moshkin Sergey V. RHA(T)-System for Coding of Discrete Distributions and Their Alteration Processes. // Proc. The 3rd International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics IMCIC 2012. – 2012. – pp. 12-16.

**Попов Ю. И.**

## НОРМАЛИЗАЦИИ ОСНОВНЫХ СТРУКТУРНЫХ ПОДРАССЛОЕНИЙ H – РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АФИННОГО ПРОСТРАНСТВА

*канд. ф-м. наук, профессор Балтийского федерального университета имени И. Канта, г. Калининград,*

NORMALIZATIONS OF MAIN STRUCTURAL SUB-BUNDLES OF H-DISTRIBUTION OF AFFINE SPACE  
*Popov Yuri, Candidate of Science, professor of Baltic federal university of I.Kant, Kaliningrad, Russian Federation,*

**АННОТАЦИЯ**

Рассматривается гиперполосное H-распределение [1] аффинного пространства, состоящее из базисного распределения (n-2)-мерных линейных элементов  $\Lambda_{n-2}$  (A-подрасслоение) и оснащающего распределения гиперплоскостных элементов  $H_{n-1}$  (H-подрасслоение), с отношением инцидентности их соответствующих элементов в общем центре A следующего вида:

$$A \in \Lambda_{n-2} \subset H_{n-1}.$$

Построены различными способами внутренние инвариантные нормализации [3] H-, A-, L-подрасслоений данного H-распределения в дифференциальных окрестностях 1-го и 2-го порядка.

В данной статье схема индексов такова:

$J, K, L \dots = \overline{1, n}; i, j, k \dots = \overline{2, n-1}; \alpha, \beta, \gamma \dots = \{1; n\}; a, b, c = \{1; i\}$ . Все остальные обозначения такие же, как и в работе [1].

**ABSTRACT**

Considered hyperband H-distribution [1] of an affine space, consisting of a base distribution (n-2)-dimensional linear elements  $\Lambda_{n-2}$  (A-subbundle) and is equipped with a distribution of hyperplane elements-ments  $H_{n-1}$  (H-subbundle), with the ratio of their respective incidence-generating elements in the common center a of the following form: Constructed in various ways internal invariant normalization [3] H-, A-, L-sub-bundles of the H-distribution in the vicinity of the differential-tion of the 1st and 2nd order. In this paper, the index scheme is as follows:

$J, K, L \dots = \overline{1, n}; i, j, k \dots = \overline{2, n-1}; \alpha, \beta, \gamma \dots = \{1; n\}; a, b, c = \{1; i\}$ .

All other values like in paper [1].

Ключевые слова: распределение, подрасслоение, нормаль распределения, тензор, квазитензор, нормализация, биекция Бомпьяни-Пантази, охват объекта.

Key words: distribution, sub-bundles, normal of distribution, tensor, kvazitensor, normalization, bijection of Bompiani - Pantazi.

**§1. Нормализации основных структурных подрасслоений H-распределения в дифференциальной окрестности 1-го порядка**

1. Известно [1], что относительно репера 1-го порядка

H-распределение аффинного пространства  $A_n$  задается уравнениями

$$\begin{aligned} \omega_i^n &= \Lambda_{iK}^n \omega^K \quad (a), \quad \omega_i^1 = \Lambda_{iK}^1 \omega^K, \quad \omega_i^j = \Lambda_{iK}^j \omega^K, \\ \omega_i^n &= \Lambda_{i\alpha}^n \omega_i^\alpha, \\ \nabla \Lambda_{iK}^n &= \Lambda_{iKL}^n \omega^L, \quad \nabla \Lambda_{iK}^1 + \Lambda_{iK}^n \omega_n^1 = \Lambda_{iKL}^1 \omega^L, \\ \nabla \Lambda_{i\alpha}^n &= \Lambda_{i\alpha K}^n \omega^K. \quad (1) \\ \nabla \Lambda_{iK}^j + \Lambda_{iK}^n \omega_n^j &= \Lambda_{iKL}^j \omega^K. \end{aligned}$$

Поля квазитензоров [2]  $\{v_n^a\}, \{v_n^i\}, \{v_n^1\}$ , определяемые уравнениями

$$\begin{aligned} \nabla v_k^a + \omega_n^a &= v_{nK}^a \omega^K, \quad \nabla v_n^i + \omega_n^i = v_{nK}^i \omega^K, \\ \nabla v_n^1 + \omega_n^1 &= v_{nK}^1 \omega^K, \quad (2) \end{aligned}$$

задают поля нормалей 1-го рода соответственно H-, A-, L-подрасслоений [1] данного H-распределения.

Прямая  $N_1(A) = [A, \vec{v}_n] = [A, v_n^a \vec{e}_a + \vec{e}_n]$ , плоскость  $N_2(A) = [A, \vec{e}_1, \vec{v}_n]$ , и гиперплоскость  $N_{n-1} = [A, \vec{e}_1, \vec{v}_n]$  являются аффинными нормальями 1-го рода Нордена соответственно гиперплоскости H(A), плоскости A(A) и прямой L(A) в каждом центре AH-распределения. Следовательно, нормаль 1-го

рода  $N_1(A)$  плоскости H(A) определяется так:

$$N_1(A) = N_{n-1}(A) \cap N_2(A) \stackrel{\text{def}}{=} v(A).$$

В силу (1) убеждаемся, что следующие охваты

$$\begin{aligned} [3] \{v_n^1\}, \{v_n^i\}, \{v_n^a\}: \\ v_n^1 &= V_n^1 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{n-2} \Lambda_{ij}^n \Lambda_{ji}^1, \\ v_n^i &= -V_n^i \stackrel{\text{def}}{=} -\Lambda_{ij}^i \Lambda_{jn}^n - V_n^1 \Lambda_{jl}^n \Lambda_{ln}^j, \\ v_n^a &= L_n^a \stackrel{\text{def}}{=} L_n^{11} L_{11}^a, \quad v_n^1 = L_n^1 \stackrel{\text{def}}{=} -L_n^i L_{i1}^n L_n^{11} - L_n^{11} L_{1n}^n, \\ v_n^a &= \{V_n^1; V_n^i\}, \quad L_n^a = \{L_n^i; L_n^1\}, \end{aligned}$$

удовлетворяют соответственно уравнениям (2) и, значит, задают нормали 1-го рода H-, A-, L-подрасслоений.

2. Приведем 2-ой способ построения внутренних нормалей 1-го рода H-, A-, L-подрасслоений в окрестности 1-го порядка. Рассмотрим охват геометрического объекта  $\{v_n^a\}$  следующего вида:

$$v_n^a = H_n^a \stackrel{\text{def}}{=} -\Lambda_n^{ab} \Lambda_{bn}^n, \quad \nabla H_n^a + \omega_n^a = H_{nK}^a \omega^K. \quad (3)$$

Поле объекта  $\{H_n^a\}$  задает внутренним образом поле нормалей 1-го рода H-подрасслоения. Квазитензор (3) распадается на два квазитензора (при  $a = i; a = 1$ ):

$$H_n^i = -H_n^{ib} H_{ba}^n, \quad \nabla H_n^i + \omega_n^i = H_{nK}^i \omega^K, \quad (4)$$

$$H_n^1 = -H_n^{11}H_n^n - H_n^{ij}H_{jn}^n, \nabla H_n^1 + \omega_n^1 = H_{nK}^1 \omega^K. \quad (5)$$

Поля (4), (5) квазитензоров  $\{H_n^i\}, \{H_n^1\}$  задают поля нормалей 1-го рода соответственно  $\Lambda$ -,  $L$ -подрасслоений.

$$V_a = -\Lambda_{ab}^n V_n^b - \mathcal{A}_a, L_a = -\Lambda_{ab}^n L_n^b - \mathcal{A}_a, H_a = -\Lambda_{ab}^n H_n^b - \mathcal{A}_a;$$

b)  $\{V_k\}, \{L_k\}, \{H_k\}$   $\Lambda$ -подрасслоения, где

$$V_k = -\Lambda_{ki}^n V_n^i - \tilde{\mathcal{A}}_k, L_k = -\Lambda_{ki}^n L_n^i - \tilde{\mathcal{A}}_k, H_k = -\Lambda_{ki}^n H_n^i - \tilde{\mathcal{A}}_k;$$

c)  $\{V_1\}, \{L_1\}, \{H_1\}$   $L$ -подрасслоения, где

$$V_1 = -\Lambda_{11}^n V_n^1 - \mathcal{A}_1, L_1 = -\Lambda_{11}^n L_n^1 - \mathcal{A}_1, H_1 = -\Lambda_{11}^n H_n^1 - \mathcal{A}_1;$$

В результате справедлива

**Теорема 1.** В дифференциальной окрестности 1-го порядка  $H$ -распределение порождает внутренним инвариантным образом нормализацию

a)  $(V_n^a; V_a), (L_n^a; L_a), (H_n^a; H_a)$   $H$ -подрасслоения;

b)  $(V_n^i; V_i), (L_n^i; L_i), (H_n^i; H_i)$   $\Lambda$ -подрасслоения;

c)  $(V_n^1; V_1), (L_n^1; L_1), (H_n^1; H_1)$   $L$ -подрасслоения.

## §2. Нормализации основных структурных подрасслоений $H$ -распределения в дифференциальной окрестности 2-го порядка

1. Прежде всего построим нормали 1-го рода  $H$ -подрасслоения в дифференциальной окрестности 2-го порядка, исходя из найденных ранее квазитензоров 1-го порядка  $(V_n^a; L_n^a; H_n^a)$ . Продолжая уравнение

$$\nabla V_n^a + \omega_n^a = V_{nK}^a \omega^K \quad (6)$$

и полагая  $K = i, K = n$ , имеем систему дифференциальных уравнений

$$\nabla V_{nc}^a + V_n^a \Lambda_{bc}^n \omega_n^b + V_n^b V_{bc}^n \omega_n^a = V_{ncL}^a \omega^L, \quad (7)$$

$$\nabla V_{nn}^a - V_{nb}^a \omega_n^b + V_n^a \Lambda_{bn}^n \omega_n^b + V_n^b \Lambda_{bn}^n \omega_n^a = V_{nnL}^a \omega^L. \quad (8)$$

Рассмотрим величины 2-го порядка

$$A_{nc}^a = V_{nc}^a - V_n^b V_n^a \Lambda_{bc}^n,$$

которые согласно (6), (7), (1) удовлетворяют уравнениям

$$\nabla A_{nc}^a = A_{ncK}^a \omega^K.$$

Тензор [2]  $\{A_{nc}^a\}$  в общем случае невырожденный. Поэтому можно ввести для него обратный тензор  $\{\tilde{A}_b^{cn}\}$ :

$$A_{nc}^a \cdot \tilde{A}_b^{cn} = \delta_b^a, A_{nc}^a \cdot \tilde{A}_a^{bn} = \delta_c^b, \nabla \tilde{A}_b^{cn} \equiv 0. \quad (9)$$

Наконец, совокупность функций

$$p_n^a = -\tilde{A}_c^{na} (V_{nn}^c - V_n^c V_n^b \Lambda_{bn}^n),$$

В силу биекций Бомпьяни-Пантази [1] построенным нормалям 1-го рода ( $n_1, n_2$ ) соответствуют нормали 2-го рода в смысле Нордена [3]:

a)  $\{V_a\}, \{L_a\}, \{H_a\}$   $H$ -подрасслоения, где

как это следует из уравнений (9), (8), (6), (1), образует квазитензор 2-го порядка

$$\nabla p_n^a + \omega_n^a = p_{nK}^a \omega^K. \quad (10)$$

Непосредственной проверкой убеждаемся, что величины  $\{p_n^i\}, \{p_n^1\}$  являются также квазитензорами 2-го порядка

$$p_n^i + \omega_n^i \equiv 0; \nabla p_n^1 + \omega_n^1 \equiv 0. \quad (11)$$

Поля квазитензоров  $\{p_n^a\}, \{p_n^i\}, \{p_n^1\}$  (10), (11) задают соответственно поля нормалей 1-го рода  $H$ -,  $\Lambda$ -,  $L$ -подрасслоений в окрестности 2-го порядка.

2. Исходя из поля нормалей  $\{L_n^a\}$  1-го рода  $H$ -подрасслоения, где

$$\nabla L_n^a + \omega_n^a = L_{nK}^a \omega^K,$$

аналогично (п.1, §2) последовательно находим

$$\nabla L_{nc}^a + L_n^a \Lambda_{bc}^n \omega_n^b + L_n^b \Lambda_{bc}^n \omega_n^a = L_{ncL}^a \omega^L,$$

$$\nabla L_{nn}^a - L_{nb}^a \omega_n^b + L_n^a \Lambda_{bn}^n \omega_n^b + L_n^b \Lambda_{bn}^n \omega_n^a \equiv 0,$$

$$B_{nc}^a = L_{nc}^a - L_n^b \Lambda_{bc}^n, \nabla B_{nc}^a \equiv 0,$$

$$B_{nc}^a \cdot \tilde{B}_b^{cn} = \delta_b^a, B_{nc}^a \cdot \tilde{B}_a^{bn} = \delta_c^b; \nabla \tilde{B}_b^{cn} \equiv 0,$$

$$q_n^a \stackrel{\text{def}}{=} -B_c^{an} (L_{nn}^c - L_n^c \Lambda_{bn}^n),$$

$$\nabla q_n^a + \omega_n^a \equiv 0, \nabla q_n^i + \omega_n^i \equiv 0, \nabla q_n^1 + \omega_n^1 \equiv 0. \quad (12)$$

Итак, поля квазитензоров  $\{q_n^a\}, \{q_n^i\}, \{q_n^1\}$  (12) задают поля нормалей 1-го рода  $H$ -,  $\Lambda$ -,  $L$ -подрасслоений в дифференциальной окрестности 2-го порядка.

3. Рассмотрим поле нормалей 1-го рода  $\{H_n^a\}$   $H$ -подрасслоения:

$$\nabla H_n^a + \omega_n^a = H_{nK}^a \omega^K.$$

Далее аналогично (п.п.1,2, §2) последовательно находим

$$\nabla H_{nc}^a + H_n^a \Lambda_{bc}^n \omega_n^b + H_n^b \Lambda_{bc}^n \omega_n^a \equiv 0,$$

$$\nabla H_{nn}^a - H_{nb}^a \omega_n^b + H_n^a \Lambda_{bn}^n \omega_n^b + H_n^b \Lambda_{bn}^n \omega_n^a \equiv 0,$$

$$\begin{aligned} C_{nc}^a &= H_{nc}^a - H_n^b H_n^a \Lambda_{bc}^n, \quad \nabla C_{nc}^b \equiv 0, \\ C_{nc}^a \cdot \tilde{C}_b^{cn} &= \delta_b^a, \quad C_{nc}^a \cdot \tilde{C}_a^{bn} = \delta_c^b; \quad \nabla \tilde{C}_b^{cn} \equiv 0, \\ s_n^a &= -\tilde{C}_n^{an} (H_{nn}^c - H_n^c H_n^b \Lambda_{bn}^n), \quad \nabla s_n^a + \omega_n^a \equiv 0, \\ s_n^i + \omega_n^i &= 0, \quad \nabla s_n^1 + \omega_n^1 \equiv 0. \end{aligned} \quad (13)$$

Поля (13) квазитензора 1-го порядка задают соответственно поля нормалей 1-го рода  $H$ -,  $\Lambda$ -,  $L$ -подрасслоений.

В силу биекций Бомпьяни-Пантази[1] построенным нормальям 1-го рода соответствуют нормали 2-го рода  $H$ -,  $\Lambda$ -,  $L$ -подрасслоений:

$$p_a = -\Lambda_{ab}^n p_n^b - \mathcal{A}_a, \quad p_i = -\Lambda_{ij}^n p_n^j - \tilde{\mathcal{A}}_i, \quad p_1 = -\Lambda_{11}^n p_n^1 - \mathcal{A}_1$$

$$a) \quad q_a = -\Lambda_{ab}^n q_n^b - \mathcal{A}_a, \quad q_i = -\Lambda_{ij}^n q_n^j - \tilde{\mathcal{A}}_i, \quad q_1 = -\Lambda_{11}^n q_n^1 - \mathcal{A}_1,$$

$$d \ln \Lambda_0 = 2\omega_1^i - (n-2)\omega_n^n + \Lambda_K \omega^K, \quad d \ln L_0 = 2\omega_1^1 - \omega_n^n + L_K \omega^K, \quad d \ln H_0 = 2\omega_a^a - (n-1)\omega_n^n + H_K \omega^K,$$

$$\text{где } \Lambda_K = \Lambda_n^{ji} \Lambda_{ijk}^n, \quad L_K = \Lambda_n^{11} \Lambda_{11K}^n, \quad H_K = H_n^{ba} H_{abK}^n.$$

$$\nabla \Lambda_K = n \Lambda_{jK}^n \omega_n^j + (n-2) \Lambda_{1\alpha}^n \delta_K^\alpha \omega_n^1, \quad \nabla L_K = L_{iK}^n \omega_n^i + 3L_{1\alpha}^n \delta_K^\alpha \omega_n^1, \quad \nabla H_K = (n-1) H_{iK}^n \omega_n^i + (n-3) H_{1\alpha}^n \delta_K^\alpha \omega_n^1, \quad (14)$$

В частности, в силу (14), придавая индексу  $K$  последовательно значения  $i, 1, a$ , найдем дифференциальные уравнения, которым удовлетворяют следующие функции:

$$\begin{aligned} \Lambda_i &= \Lambda_n^{ik} \Lambda_{kji}^n, \quad \nabla \Lambda_i \equiv n \Lambda_{ji}^n \omega_n^j, \\ \Lambda_1 &= \Lambda_n^{jk} \Lambda_{kjl}^n, \quad \nabla \Lambda_1 \equiv n \Lambda_{jl}^n \omega_n^j + (n-2) \Lambda_{11}^n \omega_n^1, \end{aligned} \quad (15)$$

$$\Lambda_a \stackrel{\text{def}}{=} \{\Lambda_i; \Lambda_1\}, \quad \nabla \Lambda_a \equiv n \Lambda_{ja}^n \omega_n^j + (n-2) \Lambda_{1a}^n \omega_n^1;$$

$$\begin{aligned} L_i &= L_n^{11} L_{1ii}^n, \quad \nabla L_i \equiv L_{ji}^n \omega_n^j, \\ L_1 &= L_n^{11} L_{111}^n, \quad \nabla L_1 \equiv L_{i1}^n \omega_n^i + 3L_{11}^n \omega_n^1, \end{aligned} \quad (16)$$

$$L_a \stackrel{\text{def}}{=} \{L_i; L_1\}, \quad \nabla L_a \equiv L_{ia}^n \omega_n^i + 3L_{1a}^n \omega_n^1;$$

$$\begin{aligned} H_i &= H_n^{ba} H_{abi}^n, \quad \nabla H_i \equiv (n-1) H_{ji}^n \omega_n^j, \\ H_1 &= H_n^{ba} H_{ab1}^n, \quad \nabla H_1 \equiv (n-1) H_{i1}^n \omega_n^i + (n-3) H_{11}^n \omega_n^1, \end{aligned} \quad (17)$$

$$H_a \stackrel{\text{def}}{=} \{H_i; H_1\}, \quad \nabla H_a \equiv (n-1) H_{ia}^n \omega_n^i + (n-3) H_{1a}^n \omega_n^1$$

С помощью функций  $\Lambda_i, \Lambda_1$  (15) и тензоров  $\{\Lambda_n^{ij}\}; \{\Lambda_n^{11}\}$  построим охваты квазитензоров 2-го порядка  $\{R_n^i\}; \{R_n^1\}$ :

$$R_n^i \stackrel{\text{def}}{=} -\frac{1}{n} \Lambda_j \Lambda_n^{ji}, \quad \nabla R_n^i + \omega_n^i = R_{nK}^i \omega^K, \quad (18)$$

$$R_n^1 \stackrel{\text{def}}{=} -\frac{1}{n-2} (\Lambda_i \Lambda_n^{i1} + \Lambda_1 \Lambda_n^{11}), \quad \nabla R_n^1 + \omega_n^1 = R_{nK}^1 \omega^K. \quad (19)$$

$$b) \quad s_a = -\Lambda_{ab}^n s_n^b - \mathcal{A}_a, \quad s_i = -\Lambda_{ij}^n s_n^j - \tilde{\mathcal{A}}_i, \quad s_1 = -\Lambda_{11}^n s_n^1 - \mathcal{A}_1.$$

Итак, имеет место

**Теорема 2.** Поля нормализаций

$$\left\{ (p_n^a; p_a), (p_n^i; p_i), (p_n^1; p_1) \right\} \\ \left\{ (q_n^a; q_a), (q_n^i; q_i), (q_n^1; q_1) \right\}, \left\{ (s_n^a; s_a), (s_n^i; s_i), (s_n^1; s_1) \right\}$$

соответственно  $H$ -,  $\Lambda$ -,  $L$ -подрасслоений  $H$ -распределение порождает внутренним инвариантным образом в дифференциальной окрестности 2-го порядка.

**4.** Определители  $\Lambda_0 = \det \|\Lambda_{ij}^n\|$ ,  $L_0 = \det \|\Lambda_{ij}^n\|$ ,

$H_0 = \det \|\Lambda_{ab}^n\|$  первого порядка удовлетворяют соответственно уравнениям:

Наконец, вводим функции  $R_n^a \stackrel{\text{def}}{=} \{R_n^i; R_n^1\}$ , удовлетворяющие уравнениям

$$\nabla R_n^a + \omega_n^a = R_{nK}^a \omega^K. \quad (20)$$

Поля квазитензоров  $\{R_n^i\}, \{R_n^1\}, \{R_n^a\}$  (19)-(20) задают поля нормалей 1-го рода соответственно  $H$ -,  $\Lambda$ -,  $L$ -подрасслоений  $H$ -распределения.

В силу биекции Бомпьяни-Пантази [1] им соответствуют поля нормалей 2-го рода  $\Lambda$ -,  $L$ -,  $H$ -подрасслоений

$$\begin{aligned} R_i &= -\Lambda_{ij}^n R_n^j - \tilde{\mathcal{A}}_i, \quad \nabla R_i = R_{iK} \omega^K, \\ R_1 &= -\Lambda_{11}^n R_n^1 - \mathcal{A}_1, \quad \nabla R_1 = R_{1K} \omega^K, \\ R_a &= -\Lambda_{ab}^n R_n^b - \mathcal{A}_a, \quad \nabla R_a = R_{aK} \omega^K. \end{aligned} \quad (21)$$

Таким образом справедлива

**Теорема 3.** Поля нормализаций  $(R_n^i; R_i)$ ,  $(R_n^1; R_1)$ ,  $(R_n^a; R_a)$  соответственно  $H$ -,  $\Lambda$ -,  $L$ -подрасслоений  $H$ -распределения внутренним образом определены в дифференциальной окрестности 2-го порядка полями квазитензоров (18-20) и тензоров (21).

**5.** Проводя аналогичные построения (см.п.4) с функциями (16), последовательно получаем

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_n^i &\stackrel{\text{def}}{=} L_j L_n^{ji}, \quad \mathcal{L}_n^i + \omega_n^i = \mathcal{L}_{nK}^i \omega^K, \\ \mathcal{L}_n^1 &\stackrel{\text{def}}{=} -\frac{1}{3}(L_i L_n^{i1} + L_1 L_n^{11}), \quad \nabla \mathcal{L}_n^1 + \omega_n^1 = \mathcal{L}_{nK}^1 \omega^K, \quad (22) \\ \mathcal{L}_n^a &\stackrel{\text{def}}{=} \{\mathcal{L}_n^i; \mathcal{L}_n^1\}, \quad \nabla \mathcal{L}_n^a + \omega_n^a = \mathcal{L}_{nK}^a \omega^K. \end{aligned}$$

Затем, используя соответствия Бомпьяни-Пантази, находим

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_i &= -\Lambda_{ij}^n \mathcal{L}_n^j - \tilde{\mathcal{A}}_i, \quad \nabla \mathcal{L}_i = \mathcal{L}_{iK} \omega^K, \\ \mathcal{L}_1 &= -\Lambda_n^{11} \mathcal{L}_n^1 - \mathcal{A}_1; \quad \nabla \mathcal{L}_1 = \mathcal{L}_{1K} \omega^K, \quad (23) \\ \mathcal{L}_a &= -\Lambda_{ab}^n \mathcal{L}_n^b - \mathcal{A}_a, \quad \nabla \mathcal{L}_a = \mathcal{L}_{aK} \omega^K. \end{aligned}$$

Итак, имеет место

**Теорема 4.** Поля нормализаций  $(\mathcal{L}_n^i; \mathcal{L}_i)$ ,  $(\mathcal{L}_n^1; \mathcal{L}_1)$ ,

$(\mathcal{L}_n^a; \mathcal{L}_a)$  соответственно  $A$ -,  $L$ -,  $H$ -подрасслоений внутренним образом определены в дифференциальной окрестности 2-го порядка полями квазитензоров (22) и полями тензоров (23).

6. Наконец, воспользуемся функциями (18) и тензорами  $\{H_n^{ij}\}, \{H_n^{11}\}$  и проведем аналогичные построения (см.п.4, п.5) квазитензоров 2-го порядка:

$$\begin{aligned} \mathcal{H}_n^i &\stackrel{\text{def}}{=} -\frac{1}{n-1} H_j H_n^{ji}, \quad \nabla \mathcal{H}_n^i + \omega_n^i = \mathcal{H}_{nK}^i \omega^K, \\ \mathcal{H}_n^1 &\stackrel{\text{def}}{=} -\frac{1}{n-3} (H_i H_n^{i1} + H_1 H_n^{11}), \quad \nabla \mathcal{H}_n^1 + \omega_n^1 = \mathcal{H}_{nK}^1 \omega^K, \\ \mathcal{H}_n^a &\stackrel{\text{def}}{=} \{\mathcal{H}_n^i; \mathcal{H}_n^1\}, \quad \nabla \mathcal{H}_n^a + \omega_n^a = \mathcal{H}_{nK}^a \omega^K. \end{aligned} \quad (24)$$

В силу соответствия Бомпьяни-Пантази[1] получим

$$\begin{aligned} \mathcal{H}_i &= -\Lambda_{ij}^n \mathcal{H}_n^j - \tilde{\mathcal{A}}_i, \quad \nabla \mathcal{H}_i = \mathcal{H}_{iK} \omega^K, \\ \mathcal{H}_1 &= -\Lambda_n^{11} \mathcal{H}_n^1 - \mathcal{A}_1; \quad \nabla \mathcal{H}_1 = \mathcal{H}_{1K} \omega^K, \quad (25) \\ \mathcal{H}_a &= -\Lambda_{ab}^n \mathcal{H}_n^b - \mathcal{A}_a, \quad \nabla \mathcal{H}_a = \mathcal{H}_{aK} \omega^K. \end{aligned}$$

Резюмируя, получаем:

**Теорема 5.** Поля нормализаций  $(\mathcal{H}_n^i; \mathcal{H}_i)$ ,  $(\mathcal{H}_n^1; \mathcal{H}_1)$ ,  $(\mathcal{H}_n^a; \mathcal{H}_a)$  соответственно  $A$ -,  $L$ -,  $H$ -подрасслоений заданы внутренним образом в дифференциальной окрестности 2-го порядка полями квазитензоров (24) и тензоров (25).

Следствием теорем (2)-(6) является

**Теорема 6.**  $H$ -распределение в дифференциальной окрестности 2-го порядка в каждом центре  $A$  внутренним образом порождает 15 однопараметрических пучков нормализаций для каждого из  $A$ -,  $L$ -,  $H$ -подрасслоений.

**Список литературы:**

1. Белозерова М.А., Попов Ю.И. Соответствия Бомпьяни-Пантази, порождаемые  $H$ -распределением аффинного пространства// Диф.геом.многообр.фигур. Калининград, 2013.Вып.44.С.19-27.
2. Лаптев Г.Ф. Дифференциальная геометрия погруженных многообразий. Теоретико-групповой метод дифференциально-геометрических исследований // Тр.Моск.мат.общества, 1953. -№2 -С.275-282.
3. Норден А.П. Пространства аффинной связности. -М.: Наука, 1976. - 432 с.

# СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Хлюстов В. К.<sup>1</sup>; Гаврилова О. И.<sup>2</sup>

## Возрастная динамика средней высоты еловых молодняков

<sup>1</sup>доктор сельскохозяйственных наук, профессор Российский государственный аграрный университет им. К. А. Тимирязева. Москва

<sup>2</sup>доктор сельскохозяйственных наук, профессор Петрозаводский государственный университет г. Петрозаводск

### AGE AVERAGE HEIGHT OF SPRUCE young plantations

*Khlustov Vitaliy doctor of Agriculture Sciences, professor Russian State Agrarian University n. K. A. Timirjazeva Moskau*

*Gavrilova Olga doctor of Agriculture Sciences, professor Petrozavodsk State University Petrozavodsk*

#### АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается динамика высот искусственных и естественных молодых еловых насаждений, собранные на основании исследования более 600 участков культур разного возраста для среднетаежной подзоны Карелии. Сделан вывод о некотором превосходстве естественно сформировавшихся молодняков, приближающихся в 45-летнему возрасту.

#### ABSTRACT

The article discusses the dynamics of the heights of artificial and natural young spruce stands, collected on the basis of studies of more than 600 sites of cultures of different ages for middle taiga subzone of Karelia. The conclusion about the superiority of some naturally formed underwood, approaching 45 years of age.

Невозможно переоценить практическую значимость классификации условий местопроизрастания и формирования насаждений, которые во многом определяют их состояние, а также стратегию их сохранения, комплексного использования и воспроизводства

Сравнение возрастной динамики роста древостоев лесных культур ели с ходом роста еловых древостоев естественного происхождения является необходимым не только с позиций обоснования целесообразности создания культур, но и с позиций оценки их продуктивности. Принятая в бонитетных шкалах градация 4 м в 100-летнем возрасте древостоев не приемлема, и более того наличие нескольких шкал, в том числе и местных не позволяют надежно оценить различия в ходе роста древостоев. В качестве материала для сравнения были использованы данные таблиц хода роста еловых древостоев Карелии (по Н.И. Казимирову, 1995) и Ленинградской области (по В.С. Моисееву, 1989).

Было принято целесообразным для сравнительной оценки хода роста использовать статистические модели с заданными значениями средних высот в конкретном возрасте типа условий.

При выращивании высокопродуктивных культур ели в разных лесорастительных условиях следует формировать древостои на основе закономерностей возрастной динамики средних высот (Н). Так, для культур разнотравного и черничного типов

леса были получены регрессии хода роста, сочетающие заданную среднюю высоту в 30-летнем возрасте ( $H_{30}$ ) и ростовую функцию Корсуня-Бакмана вида:

в черничном типе леса:

$$H = H_{30} \cdot \exp\{1,3224 \ln(A/30) - 0,13734 \ln^2(A/30)\} \quad (1)$$

$$R^2 = 0,963; F = 461,5 \text{ при } P < 0,05; t > t_{05} = 2,0$$

в разнотравном типе:

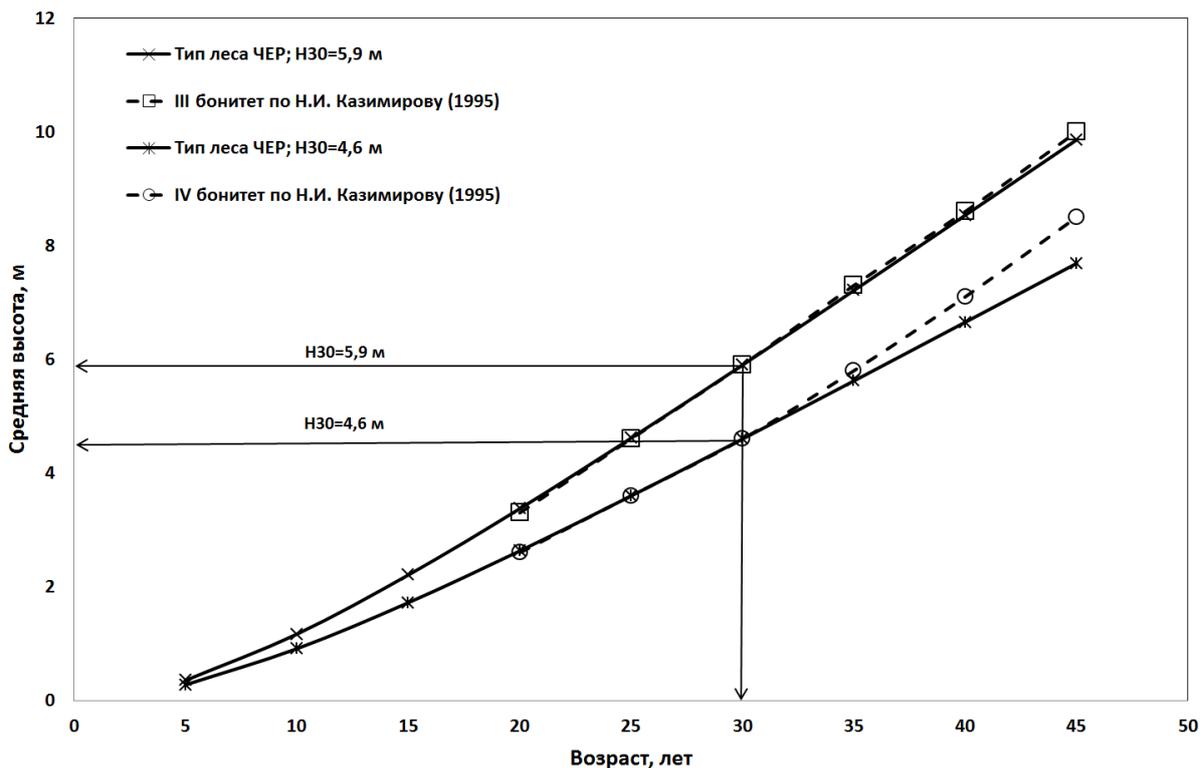
$$H = H_{30} \cdot \exp\{1,29983 \ln(A/30) - 0,36334 \ln^2(A/30)\} \quad (2)$$

$$R^2 = 0,982; F = 367,9 \text{ при } P < 0,05; t > t_{05} = 2,0$$

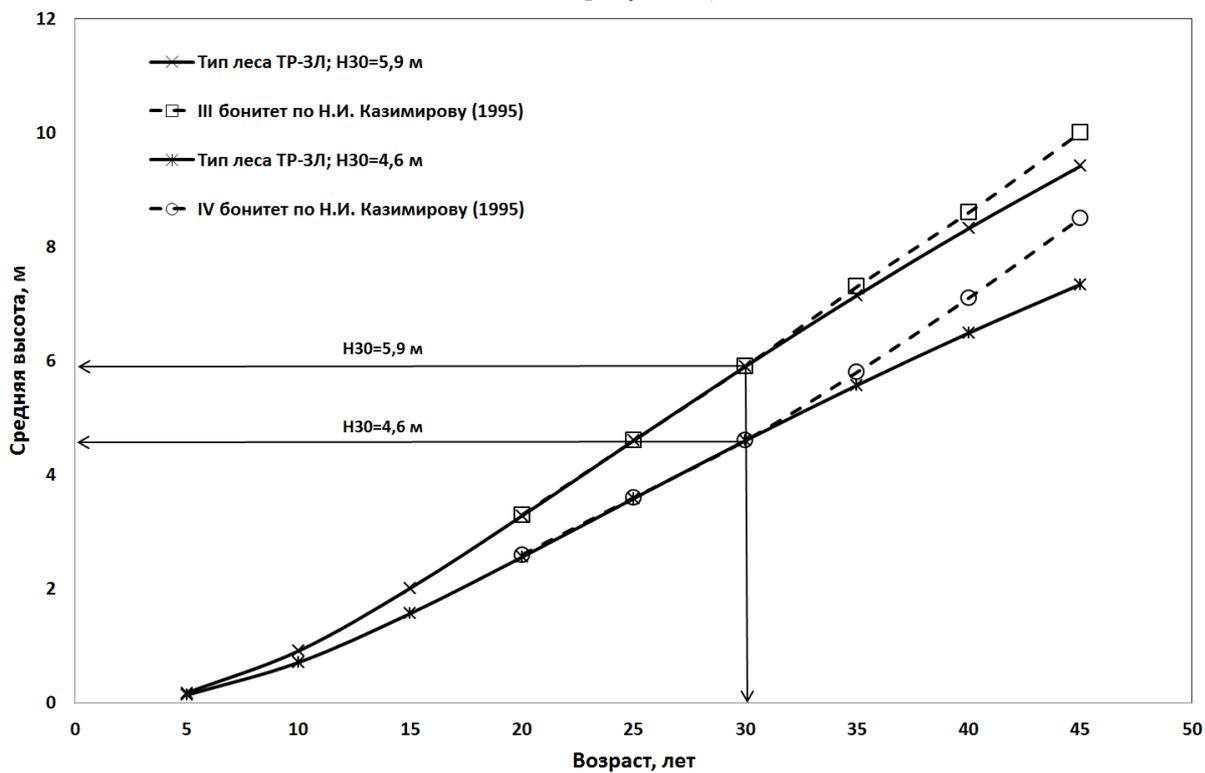
При этом следует в качестве аргумента использовать возраст, выраженный в долях от 30 лет, в котором фиксируется средняя высота. Таким образом, можно получить бонитеровочную шкалу с любой заданной градацией значений  $H_{30}$ .

Сравнение линий регрессии возрастной динамики средних высот модели (8.6) с данными ТХР (по Моисееву, 1989)

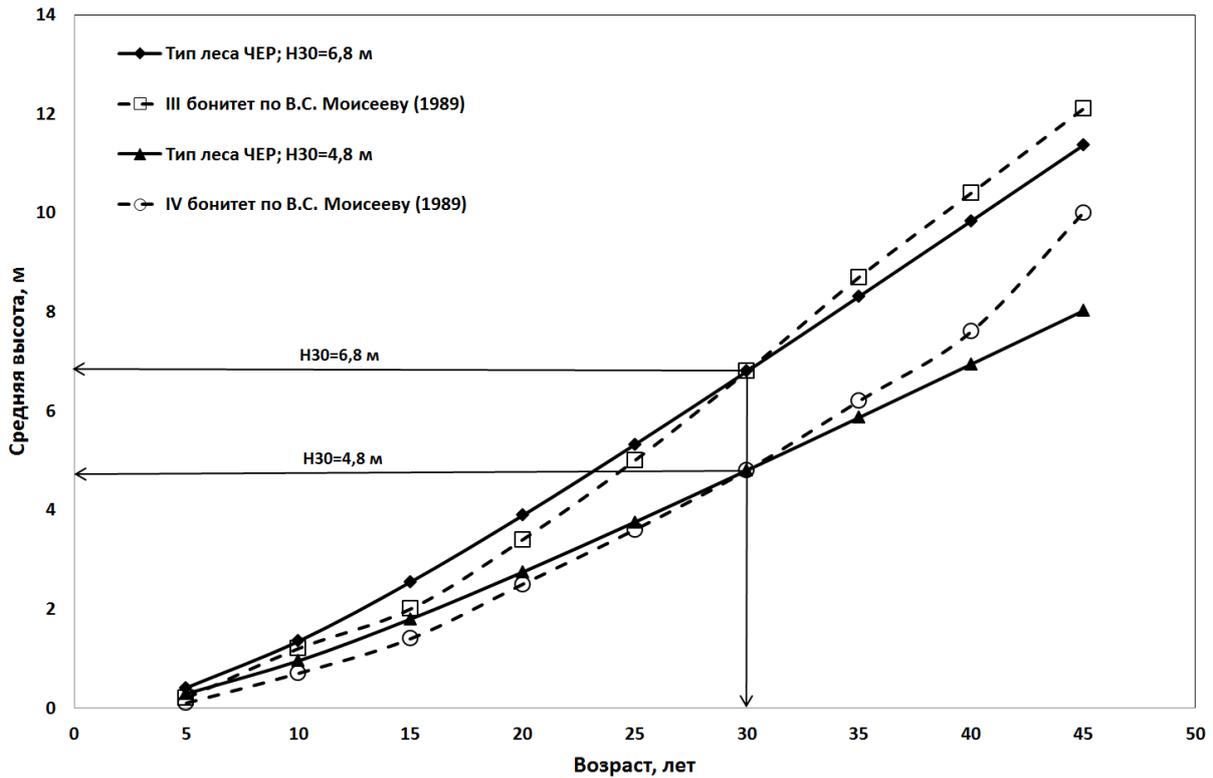
Сопоставление полученных нами кривых хода роста с кривыми из ТХР для III и IV бонитета по Н.И. Казимирову (1995) показывает полное совпадение в возрасте младше 30 лет и некоторое расхождение в возрасте более 35 лет (рис. 1, 2). Во всех случаях при переходе к средневозрастной группе еловые древостои естественного происхождения начинают обгонять по высоте культуры ели, причём расхождение в тавяно-злаковом типе леса больше, чем в черничном типе.



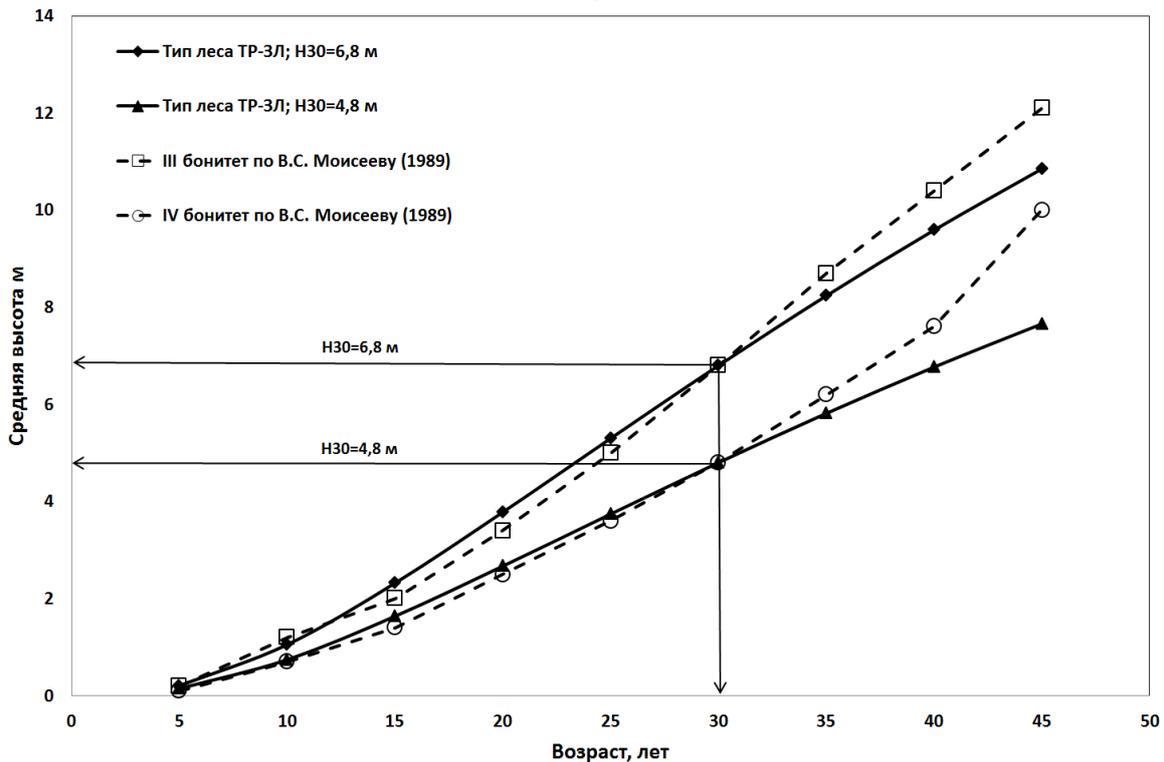
Сравнение линий регрессии возрастной динамики средних высот модели (8.5) с данными ТХР (по Казимирову, 1995)



Сравнение линий регрессии возрастной динамики средних высот модели (8.6) с данными ТХР (по Казимирову, 1995)



Сравнение линий регрессии возрастной динамики средних высот модели (8.5) с данными ТХР (по Моисееву, 1989)



При сравнении регрессий по моделям с данными ТХР для III и IV классов бонитета по В.С. Моисееву (1989) выяснилось, что здесь сохраняется та же тенденция превышения значений средних высот древостоев естественного происхождения над культурами ели при переходе к средневозрастной группе возраста (рис. 3, 4). Поскольку были учтены только данные, ограниченные возрастом культур 45 лет, то

вполне возможно, что при дальнейшем наблюдении за ростом культур ели выявленные тенденции будут изменены.

**Список литературы:**

1. Хлюстов В.К. Единство типов лесорастительных условий, типов леса и уровней продуктивности насаждений. Журнал Природообустройство, №1-2010, с. 3-8.

2. Хлюстов В. К., Гаврилова О. И. Морозова И. В. Лесные культуры Карелии (Этапы раннего возраста). М.: ФГОУ ВПО РНАУ – МСХА им. Тимирязева, 2007. 223 с.
3. Сукачѳв В. Н. Избранные труды в трех томах – Л.: Наука. – Т. 1: Основы лесной типологии и биогеоценологии. – 1972. – 419 с.
4. Хлюстов В.К. Единство типов лесорастительных условий, типов леса и уровней продуктивности насаждений. Журнал Природообустройство, №1-2010, с. 3-8.
5. Гаврилова О. И., Хлюстов В. К. Закономерности роста и продуктивности лесных культур сосны на стадии индивидуального роста (1-6 лет) Эл. Журнал Resources and Technology, том 10 (2013), номер 1, стр. 44-72
6. Хлюстов В. К., Лямеборшай С. Х. Информационные технологии устойчивого управления лесами: проблемы и решения. М., Изд-во ФГОУ ВПО РНАУ – МСХА им. Тимирязева, 2013, 120 с.

*Кадырбекова А. К.<sup>1</sup>; Иминова Д. Е.<sup>2</sup>*

### ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ГИБРИДОВ ПОДСОЛНЕЧНИКА СЕМЕЙСКОГО РЕГИОНА

<sup>1</sup>магистрант 2 курса, аграрного факультета, Государственного университета им. Шакарима г. Семей

<sup>2</sup>Научный сотрудник «Научного центра радиоэкологических исследований»,  
Государственного университета им. Шакарима г. Семей

#### THE ELEMENTAL COMPOSITION OF HYBRID SUNFLOWERS SEMEY REGION

*Kadyrbekova Laura Kadyrbekovna, second year postgraduate, agrarian faculty, Shakarim state university of Semey*

*Iminova Dilraba Etahunovna, Scientific officer "Scientific center of radioecological research" Shakarim state university of Semey*

#### АННОТАЦИЯ

В данной статье приведены результаты элементного состава гибридных подсолнечников крестьянского хозяйства «Лина», села Новопокровка. Элементный состав был проведен рентгеноспектральным и масс-спектральными анализами. Для анализа были отобраны пробы разных гибридных сортов подсолнечника (корни, стебли, семечки и масло). В ходе исследования были получены результаты, которые удовлетворяют своим качеством.

Ключевые слова: Подсолнечник, гибридные сорта «Арена», «Брио», «Делфи», «Санай», макро- и микро- элементы.

#### ANNOTATION

In this article the results of the elemental composition of hybrid sunflower farms "Lina", the village of Novopokrovka. The elemental composition was carried out x-ray spectroscopy and mass spectral analyses. For analysis, samples were collected from different hybrid strains of plants (roots, stems, seeds and oil). During the research, results were obtained that meet their quality.

Key words: Sunflower, hybrid strains «Arena», «Brio», «Delfi», «Sanai», macro - and microelements.

Доля Казахстана в мировом производстве масличных составляет 2%. Рынок масличных в Казахстане определяется на протяжении последних лет тремя цифрами. Как отмечается Минсельхозом РК, доля импорта в потреблении растительного масла в стране составляет больше 45%. Общая производственная мощность по переработке маслосемян в Казахстане составляет около 1,3 млн. тонн в год. При внутреннем валовом производстве масличных культур по результатам 2012/13 МГ в объеме 850 тыс. тонн дефицит маслосырья составляет более 35%. По факту этот показатель доходит до 50% [1, с.1].

Семена подсолнуха (семечки) содержат массу полезных и нужных организму веществ:

- витамины: А, В, С, D, Е – это самые важные и значимые биологически активные вещества для организма, влияющие на работу органов зрения, ока-

зывающие омолаживающий и тонизирующий эффект, влияющие на состав крови и усвоение кальция организмом. Хотя грызть семечки в обществе считается неприличной привычкой, их полезные свойства неизменно сказываются «на лице», витамины Е, А и С благоприятно влияют на кожу, улучшают питание, тонизируют, повышают тургор ткани и улучшают цвет лица.

- микроэлементы: натрий, фосфор, кремний, магний, кальций, железо, селен, цинк. Такой набор минералов благотворно влияет на многие системы в организме, сосуды очищаются от холестерина, стимулируется пищеварение, улучшается функция печени, прочищаются желчевыводящие потоки. Магний, содержание которого одно из самых высоких – 300 мг на 100 г продукта, незаменим для сердечно - сосудистой системы, иммунитета, нервной системы.

- жирные кислоты. Ненасыщенные жирные кислоты, которые содержат семена подсолнечника, очень полезны для организма, они являются неотъемлемым компонентом клеточных мембран и структур головного мозга.

- белковые соединения. Около одной пятой в семечках составляет белок, набор ценных и незаменимых аминокислот, входящих в состав семечек достаточно велик[2, с.1].

На территории Семейского региона возделывают 70 крестьянских хозяйств и одно товарищество с ограниченной ответственностью. Общая посевная

площадь занимает свыше 10 тысяч га. Под зерновыми занято 860 гектаров, 3300 - отведены под картофель и 1380 - под овощи. На остальных массивах бахчевые, масличные культуры, кукуруза на силос, многолетние и однолетние травы.

Наиболее крупное крестьянское хозяйство «Лина» села Новопокровки занимается выращиванием следующих гибридных масличных культур (подсолнухов): Арена, Санай, Делфи, Брио, (Рисунок 1. Магистрант аграрного факультета изучает гибридные подсолнечники выращиваемые данным хозяйством).

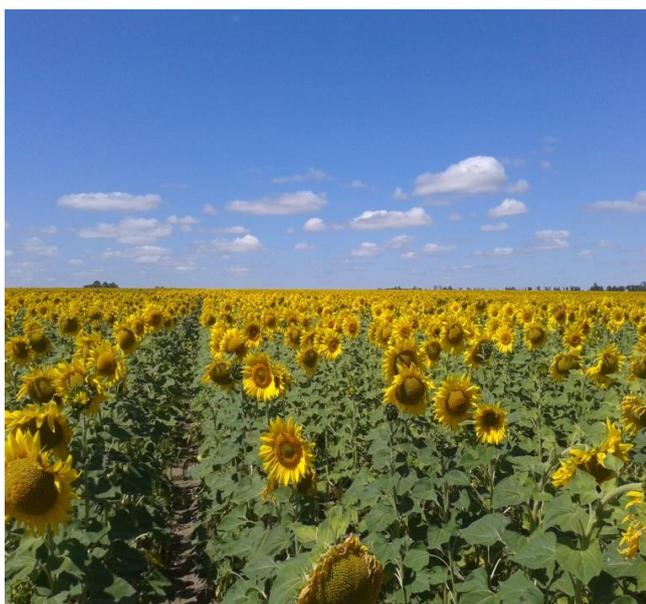


Рисунок 1. Изучение гибридных подсолнечников к/х «Лина» (магистрант Кадырбекова Л.К.)

**Сорт Арена.** Лист средний, сердцевидный, зеленый, антоциановая окраска и глянец отсутствуют, пузырчатость отсутствует или очень слабая, пильчатость края листа средняя, неправильная, форма поперечного сечения листа вогнутая. Опущение стебля в верхней части сильное. Время цветения среднее. Язычковый цветок удлиненный, желтый; трубчатый цветок желтый, антоциановая окраска рыльца отсутствует или очень слабая. Положение корзинки при созревании - наполовину повернутое вниз, размер средний, форма семенной стороны выпуклая. Ветвление растения отсутствует. Семянка средняя, овально-удлиненная, основная окраска черная, полосы серые, положение краевое и боковое. Средняя урожайность семян 25,0 ц/га. Среднее содержание жира в семенах 47,7%, на 3,3% выше; сбор масла - 10,4 ц/га, на 1,5 ц/га больше стандарта. Максимальная масличность семян - 51,1%. Среднеранний.

**Сорт Санай.** Лист средний, сердцевидной формы, зеленый, пузырчатость отсутствует или

очень слабая, пильчатость средняя, форма поперечного сечения вогнутая, угол между боковыми жилками острый. Опущение стебля в верхней части среднее. Время цветения от среднего до позднего. Язычковый цветок желтый. Трубчатый цветок желтый, антоциановая окраска рыльца отсутствует или очень слабая. Корзинка средняя, положение при созревании повернутого вниз. Форма семенной стороны выпуклая. Растение очень высокое, ветвление отсутствует. Семянка средняя, узкояйцевидной формы, средней толщины, основная окраска черная, пятнистость отсутствует, полосы имеются, серые, положение полосок краевое и боковое. Средняя урожайность в регионе составила 11,7 ц/га. Максимальная урожайность семян 17,0 ц/га. В среднем содержание жира в семенах 53%. По данным оригинатора, гибрид устойчив к гербицидам группы имидазолинонов. Среднеспелый.

**Сорт Делфи.** Среднеранний классический гибрид подсолнечника с высоким потенциалом урожайности и повышенной стойкостью к полеганию. Один из наиболее стабильных гибридов по уровню

урожайности. Характеризуется высокой толерантностью к фомозу, фомопсису и хорошей устойчивостью к белой гнили. Отличительной чертой данного гибрида является большой стебель лимонно-желтого цвета, фактически не поражаемый болезнями. Высота растений 170-190 см. Содержание масла - 50-52 %.

**Сорт Брио.** Один из самых популярных гибридов в мире, среднеспелый гибрид. Содержание масла - 48-50 %. Самый ранний в своей группе спелости. Высокоурожайный гибрид подсолнечника интенсивного типа выращивания. На первых этапах развития имеет замедленные темпы роста. В рисунке 2 приведены гибридные подсолнухи, которые взяты на исследование.



Сорт «Арена»



Сорт «Брио»



Сорт «Дельфи»



Сорт «Санай»

Рисунок 2. Гибридные сорта подсолнухов

**Цель научной работы.** Определение элементного состава гибридных подсолнечников крестьянского хозяйства «Лина», села Новопокровка Семейского региона.

Для достижения поставленной цели в октябре месяце в крестьянском хозяйстве «Лина» (с.Новопокровка) нами были отобраны пробы разных видов подсолнухов (корень, стебли, семечки, масло).

**Методы исследования.** Исследования проведены в испытательной региональной лаборатории инженерного профиля «Научный центр радиологических исследований», Государственного университета имени Шакарима г.Семей. Элементный

состав определяли на растровом электронном микроскопе JSM – 6390 LV фирмы «JEOL» системой рентгенспектрального микроанализа INCA ENERGY - 250 (ЯПОНИЯ). Данный микроскоп позволяет увеличить изображение образца до 300 000 раз, может работать на низковаккумном и высоковакуумном режиме. Так как исследование объекта в микроскопе проводится в вакууме, объект исследования не должен содержать влаги и жира. Поэтому исследуемые пробы перед анализом высушиваются, затем образцы помещали на круглые металлические подложки из нержавеющей стали с использованием

двухстороннего углеродного скотча для фиксации. Система рентгеновского микроанализа позволяет определить содержание химических элементов в образце с получением спектра, диаграмм и таблицы результатов.

Элементный состав масла определялся масс-спектрометрическим методом с индуктивно-связанной плазмой на ИСП-МС фирмы «VARIAN» (Австралия) так как жидкие и жирные образцы рентгеновского микроанализом определить невозможно. Метод основан на использовании индуктивно-связанной плазмы в качестве источника ионов и масс-спектрометра для их разделения и детектирования. ИСП-МС также позволяет проводить изотопный анализ выбранного иона. В большинстве случаев объектами анализа в ИСП-МС являются водные растворы. Твердые пробы растворяют с применением кислот и затем анализируют.

Подготовку проб проводили поэтапно:

1. Отобранную навеску образцов высушивали в сушильном шкафу при температуре 120 °С, затем озоляли при 400 °С в муфельной печи.

2. Полученную золу растворяли концентрированной азотной кислотой при 200 °С в микроволновой печи.

3. Затем полученный раствор разбавляли 1% азотной кислотой в 10 раз и измеряли на масс-спектрометре.

#### Результаты исследований.

Результаты исследований рентгеновского микроанализа приведены в таблицах 1,2,3.

Таблица 1 - Результаты корней подсолнечника

Наименование сорта	Содержание химических элементов в корнях подсолнечника, %								
	Na	Mg	Al	P	S	K	Si	Ca	Fe
Арена	5,48	3,41	3,01	3,88	1,83	57,29	6,8	10,88	4,92
Брио	3,06	11,25	17,35	3,73	2,46	13,65	37,76	13,74	3,52
Делфи	4,15	4,25	17,01	1,63	1,29	11,73	46,78	8,34	8,68
Санай	7,82	7,48	18,07	2,16	1,47	4,25	38,40	27,95	0,86

По данным таблицы 1 в корнях подсолнечника содержатся все необходимые для роста химические элементы. Тяжелых металлов не обнаружено. Количество натрия в корнях подсолнечника «Арена» - 5,48; магния - 3,41; алюминия - 3,01; фосфора - 3,88; сера - 1,83; калия - 57,29; кремния - 6,80; кальция - 10,88 и железа - 4,92%. В корнях подсолнечника «Брио» содержание натрия - 3,06; магния - 11,25; алюминия - 17,35; фосфора - 3,73; сера - 2,46; калия -

13,65; кремния - 37,76; кальция - 13,74 и железа - 3,52%, соответственно в подсолнечнике «Делфи» содержание натрия - 4,15; магния - 4,25; алюминия - 17,01; фосфора - 1,63; сера - 1,29; калия - 11,73; кремния - 38,40; кальция - 8,34 и железа - 8,68%. В корнях сорта «Санай» содержание натрия - 7,82; магния - 7,48; алюминия - 18,07; фосфора - 2,16; сера - 1,47; калия - 4,25; кремния - 38,40; кальция - 27,95; а так же железа - 0,86%.

Таблица 2

#### Результаты стеблей подсолнечника

Наименование сорта	Содержание химических элементов в стеблях подсолнечника, %				
	Na	Mg	S	K	Ca
Арена	9,37	13,43	2,32	26,09	53,32
Брио	25,18	10,28	2,54	6,46	55,54
Делфи	26,61	17,97	9,30	15,66	30,46
Санай	18,42	17,59	6,66	27,33	30,00

По данным таблицы 2 в стеблях подсолнечников разного сорта обнаружены следующие химические элементы - натрий, магний, сера, калий и кальций. В сорте «Арена» натрия - 9,37; магния - 13,43; сера - 2,32; калия - 26,09; кальция - 53,32%. Содержание химических элементов в стеблях подсолнечника

«Брио» натрия- 25,19; магния - 10,28; сера - 2,54; калия - 6,46; кальция - 55,54%. В «Делфи» натрия- 26,61; магния - 17,97; сера - 9,30; калия - 15,66; кальция - 30,46%, соответственно в «Санай» натрия - 18,42; магния - 17,59; сера - 6,66; калия - 27,33; кальция - 30,00%.

Таблица 3

Наименование сорта	Результаты семечек подсолнечника							
	Содержание химических элементов в семечках подсолнуха, %							
	Na	Mg	Al	P	S	K	Si	Ca
Арена	4,45	13,99	2,94	0,76	7,91	45,72	3,46	24,63
Брио	12,38	12,74	8,25	1,64	5,92	40,60	6,90	10,97
Делфи	19,66	22,83	6,74	8,29	9,16	17,94	5,00	10,38
Санай	6,63	29,26	4,80	1,76	10,52	25,05	3,77	17,48

Семечки подсолнечников богаты минеральными веществами, в семечках сорта «Арена» содержание натрия – 4,45; магния – 13,99; алюминия – 2,94; фосфора – 0,76; сера- 7,91; калия – 45,72; кремния – 3,46; кальция – 24,63%. В «Брио» содержание натрия

– 12,38; магния – 12,74; алюминия – 8,25; фосфора – 1,64; сера- 5,92; калия – 40,60; кремния – 6,90; кальция – 10,97%, в сорте «Делфи» натрия – 19,66; магния – 22,83; алюминия – 6,74; фосфора – 8,29; сера- 9,16; калия – 17,94; кремния – 5,00; кальция – 10,38%.

Таблица 4. Результаты подсолнечного масла сорта «Арена»

Наим. сорта	Содержание химических элементов в семечках подсолнуха, мг/л													
	Na	Mg	Al	P	K	Ca	Fe	Zn	Co	Ni	Mn	Cu	Se	Rb
Арена	6,7	2,6	4,4	5,6	8,0	3,4	0,2	0,01	0,006	0,01	0,03	0,013	0,02	0,005

Масс-спектральный анализ показал, что в подсолнечном масле сорта «Арена» содержатся макро- и микро- элементы, которые необходимы организму человека. Содержание натрия составило – 6,7 мг/л, магния – 2,6; алюминия – 4,4; фосфора – 5,6; калия – 8,0; кальция – 3,4; железа – 0,2; цинка – 0,01; кобальта – 0,006; марганца – 0,03; меди – 0,013; селена – 0,02 и рубидия – 0,005 мг/л. Все сорта подсолнечников удовлетворяют своими элементными составами. В дальнейшем будут исследованы содержание витаминов и аминокислот в семечках подсолнечников.

#### Список литературы:

1. <http://www.oilworld.ru/news>. Казахстан. Обзор рынка масличных. Дата обращения 30.07.14 г (дата регистрации 06.05.13)
2. <http://polzavred.ru/polza-i-vred-semechek-podsolnuxa.html>. Семечки подсолнуха – польза и вред семечек подсолнуха. Дата обращения 15.08.14 г (дата регистрации 19.05.2012)

## ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ

Топчиев А. Г.

### ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ НА ТРУБОПРОВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

доктор технических наук, ведущий научный сотрудник МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

#### REMOTE METHODS OF FORECASTING OF NATURAL AND MAN-MADE DISASTERS IN THE PIPELINE TRANSPORT

Topchiev Anatoly, G. Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher of Moscow State University, Moscow, Russian Federation

#### АННОТАЦИЯ

В статье обоснована необходимость создания системы локального аэрокосмического мониторинга предназначенная для дефектоскопии и предупреждения техногенных аварий на объектах линейной части трубопроводного транспорта углеводородного сырья. Определены функциональные задачи дистанционного зондирования. Сформулированы технические требования к бортовым программно-аппаратурным комплексам на платформе самолетов класса «Ультра – Лайт». Проанализированы результаты внедрения системы и приведены виды выходной информации.

#### ABSTRACT

The article substantiates the need for a system of local aerospace monitoring designed for flaw detection and prevention of technogenic accidents at the linear part of the pipeline transport of hydrocarbons. Defined functional tasks of remote sensing. Formulated technical requirements for on-board hardware-software complexes on the platform aircraft grade "Ultra - Light". The results of implementation of the system and show the types of output.

Ключевые слова: Система локального мониторинга; защита окружающей среды; дистанционная диагностика; нефтегазовый комплекс; нефтепроводные системы; дешифрирование аэрокосмической информации; аэросъемочная система; бортовой программно-аппаратурный комплекс.

Keywords: System of local monitoring ; environmental protection ; remote diagnostics ; oil and gas, pipeline system ; interpretation of aerospace information ; aerial photography system ; on board software and hardware complex.

В начале июня 1989 года на железнодорожном перегоне Аша – Улу – Теляк произошла невиданная по масштабам техногенная катастрофа на продуктопроводе «Сибирь-Урал-Поволжье».

В результате комплекса предпосылок ЧС и отсутствия в системе эксплуатации трубопровода, а главное средств объективного мониторинга произошла утечка и взрыв большого объема сжиженного газа пропан-бутан мощностью 10-11 кило тонн ТНТ. В эпицентре оказались сразу два железнодорожных состава Новосибирск – Адлер и Адлер – Новосибирск до отказа заполненные пассажирами. Погибли более 600 человек, из которых 115 детей, столько же оказалось тяжело раненных.

Научное сообщество России неоднократно ставило перед директивными органами один и тот же вопрос: почему в России не работает система оперативной диагностики и предупреждения катастроф на трубопроводном транспорте? Как остановить страшную в своей неизбежности череду масштабных катастроф, ежегодно приносящих многомиллиардные потери экономике России? Одной из главных причин, обуславливающих угрозу безопасности газотранспортной отрасли России, является несовершенство информационных технологий,

обеспечивающих техническую диагностику и оперативный контроль состояния комплекса газотранспортных геотехнических систем (ГТС). Нарушения технологии эксплуатации, активизация комплекса деструктивных экзогенных геологических процессов, крайняя изношенность оборудования, невыполнение установленных нормативных сроков замены оборудования вызывают техногенные аварии в промышленных зонах и на трубопроводах. В последние годы, в связи с активизацией криминальных несанкционированных подключений к газораспределительным сетям низкого давления зафиксированы многочисленные аварийные ситуации. Установлены факты террористических актов на газопроводах приведшие к серьезным авариям и отключениям газотранспортных магистралей стратегического значения. Отсутствие актуальной ситуационной документации и согласования на строительные работы, выполняемые зачастую без лицензионного обеспечения, неоднократно приводили к техногенным авариям. Сегодня для подразделений МЧС РФ в центре и на местах, актуальны задачи не только оперативной индикации и реагирования на техногенные и природные аварии, но в первую очередь, выявление предпосылок к возникновению чрезвычайных

ситуаций, а также разработка превентивных мероприятий по предотвращению таких угроз на ранней фазе их развития [5, стр.78]. Рассмотрим конкретные параметры проблемы. Массовая газификация страны прошла в 60-70-х годах. Срок эксплуатации более 21% газотранспортного оборудования, включая газораспределительные сети высокого давления и коридоры магистральных газопроводов превышает 40 лет, прошли установленный нормативный срок эксплуатации и требуют замены. Сегодня на трубопроводах высокого давления ежегодно регистрируется до 50 крупных и тысячи мелких аварий, сопровождающихся разливами нефти и воспламенением газа, загрязнением всех элементов биосферы, огромными экономическими потерями. Потери углеводородов при фильтрации через микротрещины и свищи составляют от 3% до 8% прокачиваемого сырья. Площадь разливов нефти на месторождениях Западной Сибири достигает нескольких десятков тысяч квадратных метров. Ежегодные материальные потери в денежном выражении составляют от 25 до 30 млрд. руб. в целом по отрасли. Вместе с тем в отрасли отсутствуют актуальная база данных и высокоэффективные технологии инвентаризации и диагностики нефте- и газотранспортного оборудования. По данным ОАО «Газпромрегингаз» [6, стр.13] в стране действует 205 газораспределительных предприятий (ГРП) в 60 регионах РФ, в зоне технического контроля которых находится 565 тыс. км. (80% всех сетей). Контроль газотранспортного оборудования осуществляется силами обходчиков не имеющих специального оборудования для диагностики. В стране отсутствует транспортная инфраструктура, позволяющая получить оперативный доступ к объектам транспортировки углеводородов. Поэтому работа обходчиков крайне неэффективна. На балансе ОАО «Газпромрегингаз» всего 32 тыс. км. сетей, на балансе дочерних и зависимых обществ (ГРО) – 225 тыс. км., 300 тыс. км сетей – «прочие собственники» т.е. региональные и муниципальные предприятия не имеющие квалифицированных кадров и технических средств для контроля и диагностики газотранспортных сетей. На протяжении 11 тыс. км. трубопроводов высокого давления (расстояние от Владивостока до Парижа) вообще нет собственника [6,стр.13]. Поэтому диагностика на этих объектах не проводится. Эти причины выдвигают задачу создания высокоэффективной системы, основанной на применении малой авиации (МИ-8Т, К-26 и др.) и сверхлегких летательных аппаратов (Авиатика U840, Поиск – 06 ТМ и др.), оборудованных стандартными портативными бортовыми комплексами ДЗ, именуемыми далее по тексту системы локального мониторинга (СЛМ). Обработка данных, получаемых такой системой, осуществляется на основе современных геоинформационных технологий (ГИС),

для которых базовый информационный слой создается по данным актуальной спутниковой информации высокого разрешения. Таким образом, речь идет о комплексировании космической информации и данных локального мониторинга взаимно дополняющих друг друга. Создание высокоэффективной системы локального аэромониторинга магистральных трубопроводов в труднодоступных районах особенно актуально для обеспечения оперативного реагирования на аварийные ситуации, вызванные природными и техногенными катастрофами [3, стр.45]. Кроме того, актуальна задача *прогнозирования* аварийных ситуаций на инженерных объектах высокого техногенного риска. Важнейшей задачей нефтегазовой отрасли является также *диагностика* линейной части нефте- и газопроводного транспорта. Решение этих задач может быть достигнуто с помощью системы со сверхвысоким пространственным и спектральным разрешением, размещенной на борту летательных аппаратов класса «Ультра лайт», обеспечивающих условия для локального аэромониторинга на предельно малых высотах (до 500 м) с оптимальными скоростями пилотирования.

В результате комплекса научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, выполненных в лаборатории геоэкологии севера Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова и на кафедре АПС РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, разработана концепция и методология локального мониторинга объектов нефтяной и газовой промышленности. Определен круг решаемых функциональных задач и объектов локального аэромониторинга, сформулированы требования к тактико-техническим данным бортового программно-аппаратурного комплекса, проведен комплекс экспериментальных летно-съемочных и синхронных наземных работ по определению оптимальных параметров летно-съемочных работ [2, стр.105]. На основе выполненных исследований была создана и прошла летно-эксплуатационные испытания опытная модель бортового программно-аппаратурного комплекса «Биосфера ТНК» на платформе дельта-лета «Поиск 06» [4, стр.13] (Рис.1). В бортовую систему включены блок управления полетом, функционирующий на базе ГИС-технологий, связанный с блоком навигационных данных ГЛОНАСС – GPS и бортового компьютера, а также оптический блок в составе курсовой и съемочной камер, установленных на платформе с приводом вращения в горизонтальной и вертикальной плоскости. Новый оптический блок снабжен цифровыми камерами высокого разрешения. Система дополнительно снабжена связанным со всеми блоками дистанционным командным прибором, а также синхронизатором таймеров камер оптического блока и GPS, откалиброванного по атомным часам сервера точного времени.



Рис.1 «Биосфера НТ»: высокая степень автоматизации летно-съёмочных работ обеспечивается применением электронных систем управления поворотными платформами правого и левого борта на которых размещены: профессиональная цифровая камера (1); тепловизор (2); трехматричная профессиональная видеокамера (3).

Дальнейшее усовершенствование данной системы было выполнено на основе инсталлирования в состав БПАК современного тепловизора Termacam P-25 (США – Швеция) и усовершенствования управления разворотом съёмочных систем с помощью двухкоординатной консоли и командного прибора для отработки углов по азимуту и месту. Данная конфигурация бортового программно-аппаратурного

комплекса успешно прошла летно-эксплуатационные испытания и защищена Патентами РФ на изобретение № 2315951 от 27.01.08 г и полезную модель № 58696 от 27.11.06 г. «Боровая система локального аэромониторинга объектов природно-техногенной сферы», а также Патентом РФ № 2227271 от 10.12.2002 г. «Способ локального аэромониторинга геотехнических систем и бортовой комплекс для его осуществления» [3, стр.46].

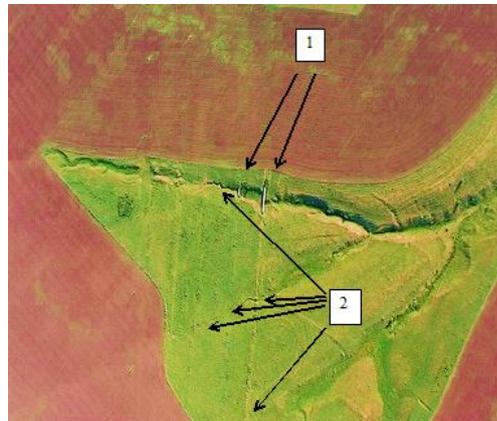


Рис. 2 Дефектоскопия предаварийных участков магистрального газопровода в зоне активного оврагообразования: участки вскрытия газопровода в результате водной эрозии (1); прогнозируемые участки вскрытия газопровода (2)

В ходе работ определены основные параметры экономической эффективности технологии локального мониторинга [1,стр.127]. Производительность предлагаемой системы локального мониторинга 25 кв. км/час. Стоимость 1 кв. км – 90 рублей. Достигается снижение затрат на выполнение дистанционного зондирования в сравнении с существующими космическими системами (QuickBird, IKONOS, IRS, SPOT-5 и др.) в 7 раз; с данными, получаемыми с помощью авиационных платформ – в 12 раз. Прибыль от выполнения производственных

летно-съёмочных работ при оперативном контроле магистральных газотранспортных систем составит не менее 80 – 100 млн. руб./год.в расчете на одно УМГ. Применение системы уже на этапе опытно-производственных работ позволило обеспечить решение ряда производственных задач по выявлению предпосылок природно-техногенных аварий на отдельных участках линейной части коридора магистральных газопроводов Уренгой-Помары-Ужгород (рис.2,3).



Рис.3. Прогноз аварийного состояния газопровода на участке перехода реки (левый снимок) и оврага (правый снимок): отчетливо дешифрируются русловые валы на участке всплытия газопровода (1); оползневой блок (2) висит на трубопроводах 1420 мм (3)

Таким образом, сохраняя преемственность в части общей методологии научно-прикладных исследований аэрокосмического мониторинга, структуры базы данных атрибутивной информации и функций информационно-справочных ГИС, предлагаемые технологии СЛМ позволят перейти на качественно новый уровень информационного обеспечения региональных органов МЧС при прогнозировании и оперативном реагировании на нештатные ситуации в нефтегазовом комплексе, а также обеспечат оптимизацию управления газотранспортной отрасли в труднодоступных районах в части диагностики и прогнозирования аварийных ситуаций. Обобщение данных локального мониторинга и ввод в производственную эксплуатацию отраслевых наземных Центров коллективного пользования и оперативного контроля магистральных газотранспортных систем будут способствовать оптимизации управления, предотвращения техногенных и природных аварий в нефтегазовом комплексе России.

#### Литература:

1. Топчиев А. Г. Девичева А. А. Новый подход к организации мониторинга объектов нефтегазового комплекса Среднего Приобья. В сб. «Криосфера Земли». Новосибирск, изд-во СО РАН, 2000 г. № 1, с. 123-130
2. Topchiev A.G. Local Monitoring System for Environmental Studies of Oil and Gas Exploration. В Сб. докладов: International Conference «Earth Cryology: XXI Century»; Pushchino, Russia, September 29 – October 3, 2013, 104 – 105с.
3. Никитин И. В. Топчиев А. Г. Новейшие методы крупномасштабного геоэкологического мониторинга объектов нефтегазового освоения криолитозоны с использованием дельталетов. Научный вестник МГТУ ГА № 154, М., Изд-во МГТУ ГА, 2010 г., 42-48 с.
4. Топчиев А. Г., Горбенко В. Я., Петренко А. С., Девичев А. А. «Способ локального аэромониторинга геотехнических систем и бортовой комплекс для его осуществления» (Патент № 2227271 от 10.12.2002 г.). Бюллетень № 11. Издательство Роспатента РФ, 2004 г.
5. Топчиев А. Г. Создание информационно-аналитической системы предупреждения аварий в нефтегазовом комплексе России. В сб. докладов XII научно-практической конференции "Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций". Изд-во ФКУ Центр "Антистихия" МЧС РФ, М. 2013 г. стр. 74-82.
6. Густав С. В. Газовая модернизация на «последней миле». Газ России. Изд-во ОАО «Известия», М., ноябрь 2010 г. стр. 13

# Международный независимый институт Математики и Систем "МиС"

№ 9 / 2014

Главный редактор: д. т.н., Клехов А.Н. (РФ, Рязань)

Международный редакционный совет:  
Альметьев Кондрат Викторович  
Казанский государственный технологический университет  
Бабушкин Сергей Дмитриевич  
Казанский государственный технологический университет  
Геверов Филипп Александрович  
Новосибирский государственный университет  
Веренов Артем Денисович  
Институт прикладной математики и автоматизации Кабардино-Балкарского научного центра  
Дзеркальский Руслан Рамзанович  
Алтайский государственный университет  
Квит Владимир Арсеньевич  
Рязанский государственный радиотехнический университет  
Крамской Николай Алексеевич  
Белгородский государственный университет  
Лутковский Геннадий Владимирович  
Ивановский государственный университет  
Морин Дмитрий Александрович  
Югорский государственный университет  
Мезельская Арина Александровна  
Рязанский государственный радиотехнический университет  
Охрименко Вадим Леонидович  
Новосибирский государственный университет  
Семченко Игорь Олегович  
Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова  
Татарских Денис Анатолиевич  
Новосибирский государственный университет  
Федорин Иван Николаевич  
Южный федеральный университет  
Ярмоленко Аркадий Леонидович  
Санкт-Петербургский госуниверситет  
Художник: Курагин Денис Андреевич  
Верстка: Еремин Александр Дмитриевич

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Адрес редакции:

630005, г. Новосибирск, ул. Ермака, 39, оф. 23

E-mail: [info@math-systems.ru](mailto:info@math-systems.ru) ; <http://math-systems.ru/>

Международный независимый институт математики и систем "МИС"

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии 630005, г. Новосибирск, ул. Ермака, 39, оф. 23